

El observatorio de rayos γ HAWC

Alberto Carramiñana
Director General INAOE & Portavoz de México en HAWC

Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica
Luis Enrique Erro 1, Tonantzintla, Puebla, México

Neutrinos y +
Anilla Cultural
8 setiembre 2015

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica

- El Observatorio Astrofísico Nacional de Tonantzintla, Puebla, (OAN-Ton) fue fundado por Luis Enrique Erro en 1942.
- OAN-Ton fue transformado en INAOE por Guillermo Haro en noviembre 1971.
- INAOE nació con el proyecto del observatorio de Cananea - hoy Observatorio Astrofísica Guillermo Haro.



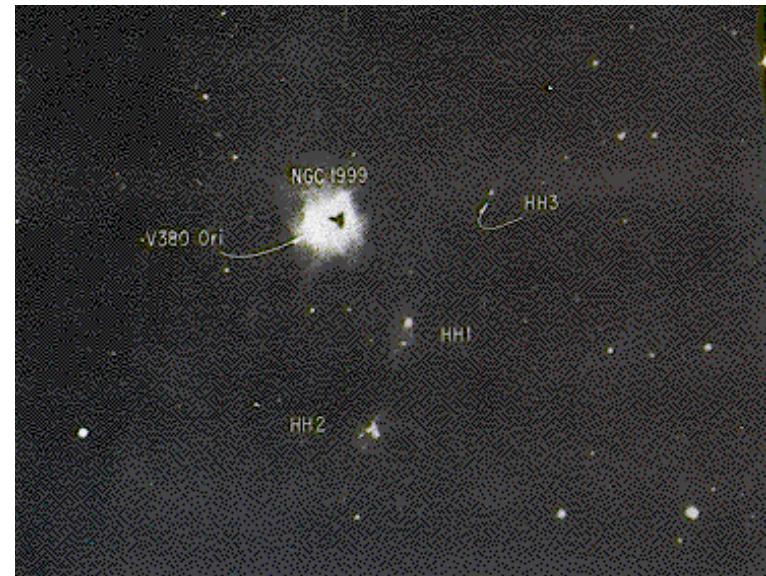


Seix Barral Los Tres Mundos *Biografía*

Elena Poniatowska

El universo o nada

Biografía del estrellero Guillermo Haro



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



43 años de investigación en astrofísica, óptica, electrónica y computación en México



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015

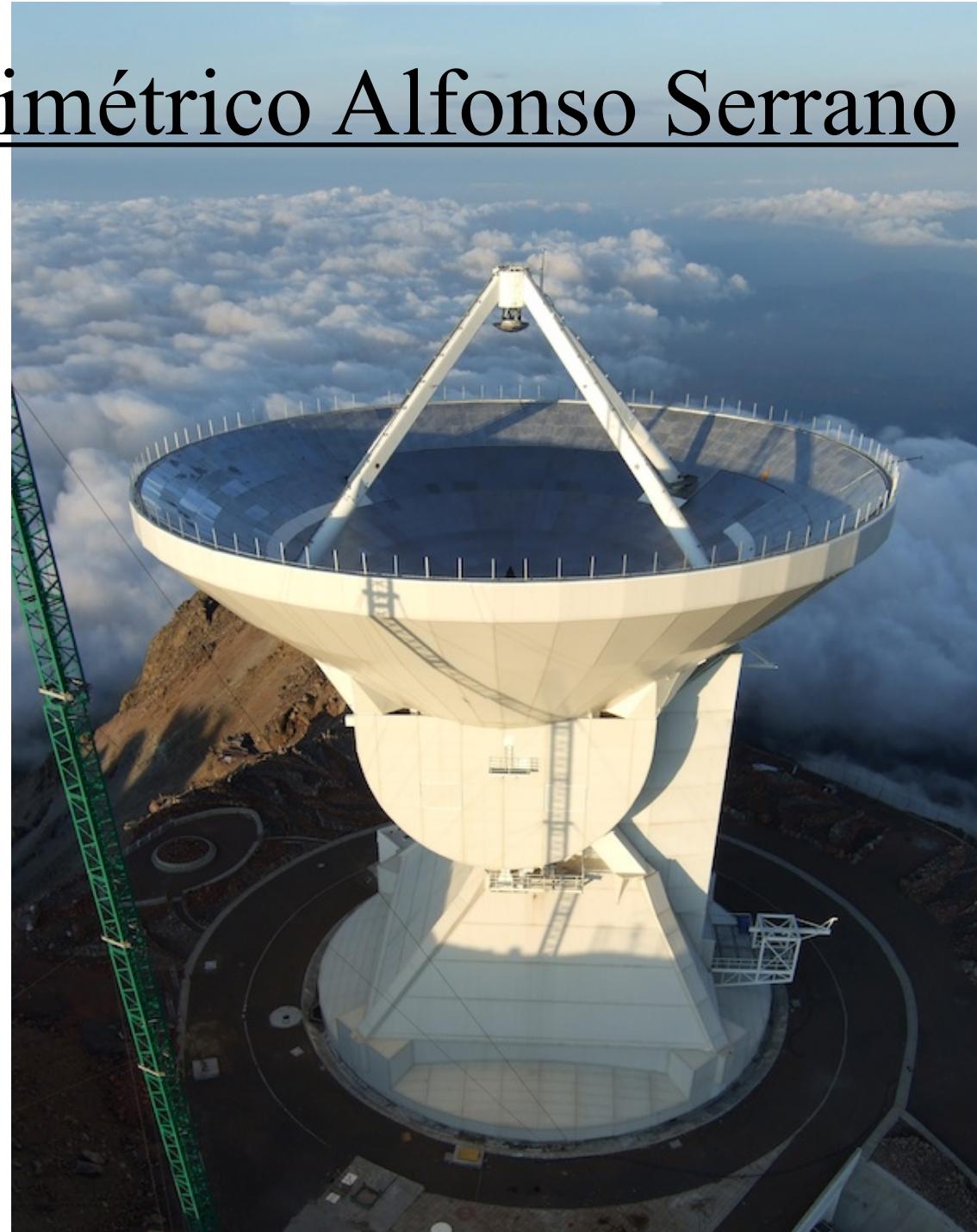


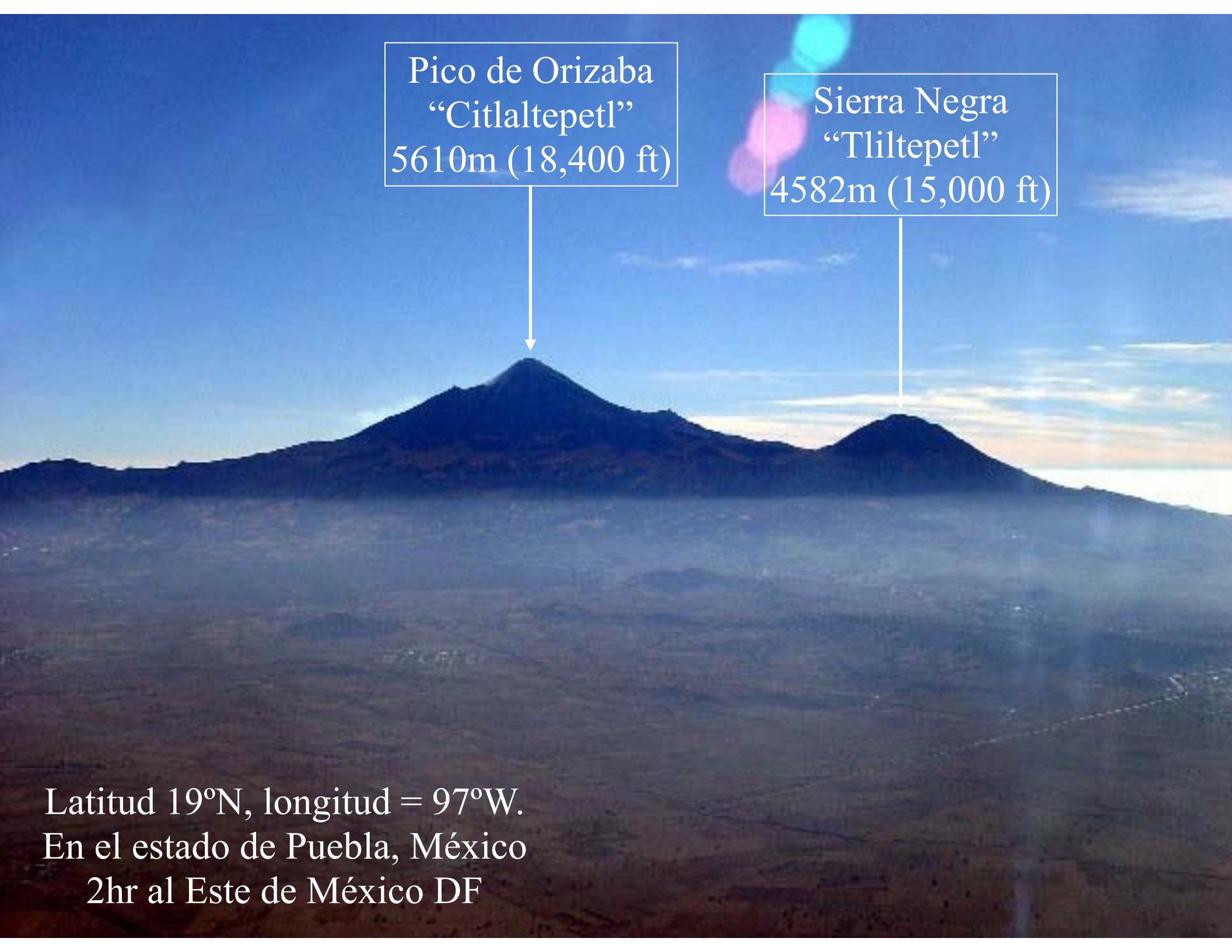
Sistema de Centros Públicos de Investigación de CONACYT



Gran Telescopio Milimétrico Alfonso Serrano

- Colaboración entre INAOE y UMASS, Amherst, para construir y operar el telescopio milimétrico más grande del mundo.
- Antena de 50m para astronomía en la banda 0.8 - 4.0 mm.
- Instalado en la cima de Sierra Negra, Tliltepetl, a 4593m.
- Operacional desde mayo 2013 con una apertura de 32m.





Pico de Orizaba
“Citlaltepetl”
5610m (18,400 ft)

Sierra Negra
“Tliltepetl”
4582m (15,000 ft)

Latitud 19°N, longitud = 97°W.
En el estado de Puebla, México
2hr al Este de México DF

Y ahora HAWC!

High Altitude Water Čerenkov γ -ray observatory



Detector de rayos γ de gran campo y observación constante para investigar el rango 100 GeV - 100 TeV.



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015





La colaboración HAWC



Mexico		United States	
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	(INAOE)	University of Maryland	(UMD)
Universidad Nacional Autónoma de México		Los Alamos National Laboratory	(LANL)
Instituto de Astronomía UNAM	(IA-UNAM)	Colorado State University	(CSU)
Instituto de Ciencias Nucleares UNAM	(ICN-UNAM)	George Mason University	(GMU)
Instituto de Física UNAM	(IF-UNAM)	Georgia Institute of Technology	(GATECH)
Instituto de Geofísica UNAM	(IG-UNAM)	Michigan State University	(MSU)
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	(BUAP)	Michigan Technological University	(MTU)
Instituto Politécnico Nacional		Pennsylvania State University	(PSU)
Centro de Investigación y Estudios Avanzados	(CINVESTAV)	NASA GSFC	
Centro de Investigación en Cómputo - IPN	(CIC-IPN)	University of California Santa Cruz	(UCSC)
Universidad Autónoma de Chiapas	(UNACH)	University of California Irvine	(UCI)
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	(UAEH)	University of New Hampshire	(UNH)
Universidad de Guadalajara	(UdG)	University of New Mexico	(UNM)
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	(UMSNH)	University of Rochester	(UR)
Universidad Politécnica de Pachuca	(UPP)	University of Utah	(UU)
		University of Wisconsin	(UW)

Con miembros asociados en Costa Rica y Polonia

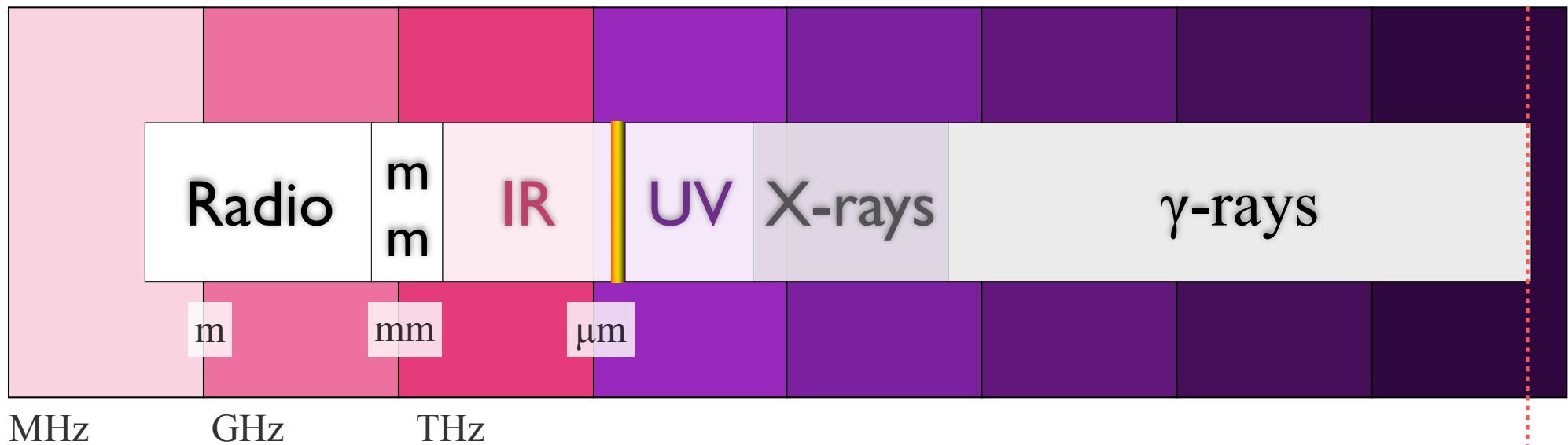


CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

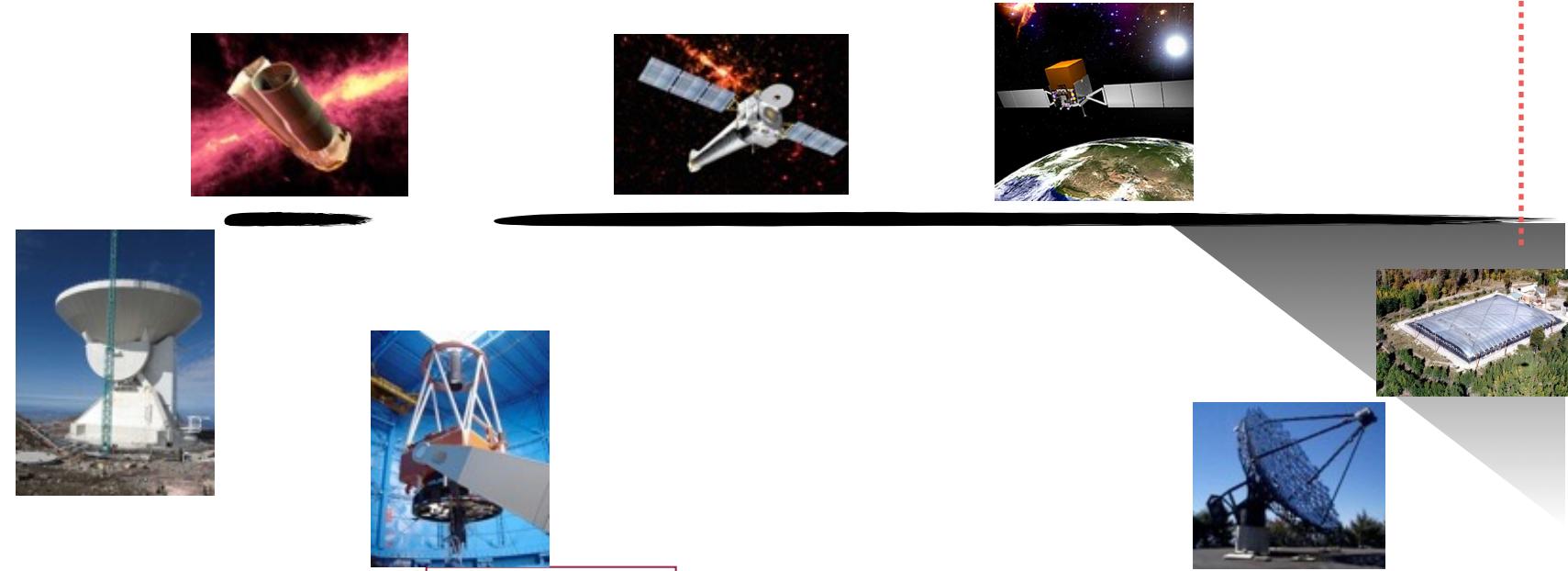
AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



neV μ eV meV eV keV MeV GeV TeV PeV



MHz GHz THz



Non thermal (e) \rightarrow **Thermal** \rightarrow Non thermal (CRs)



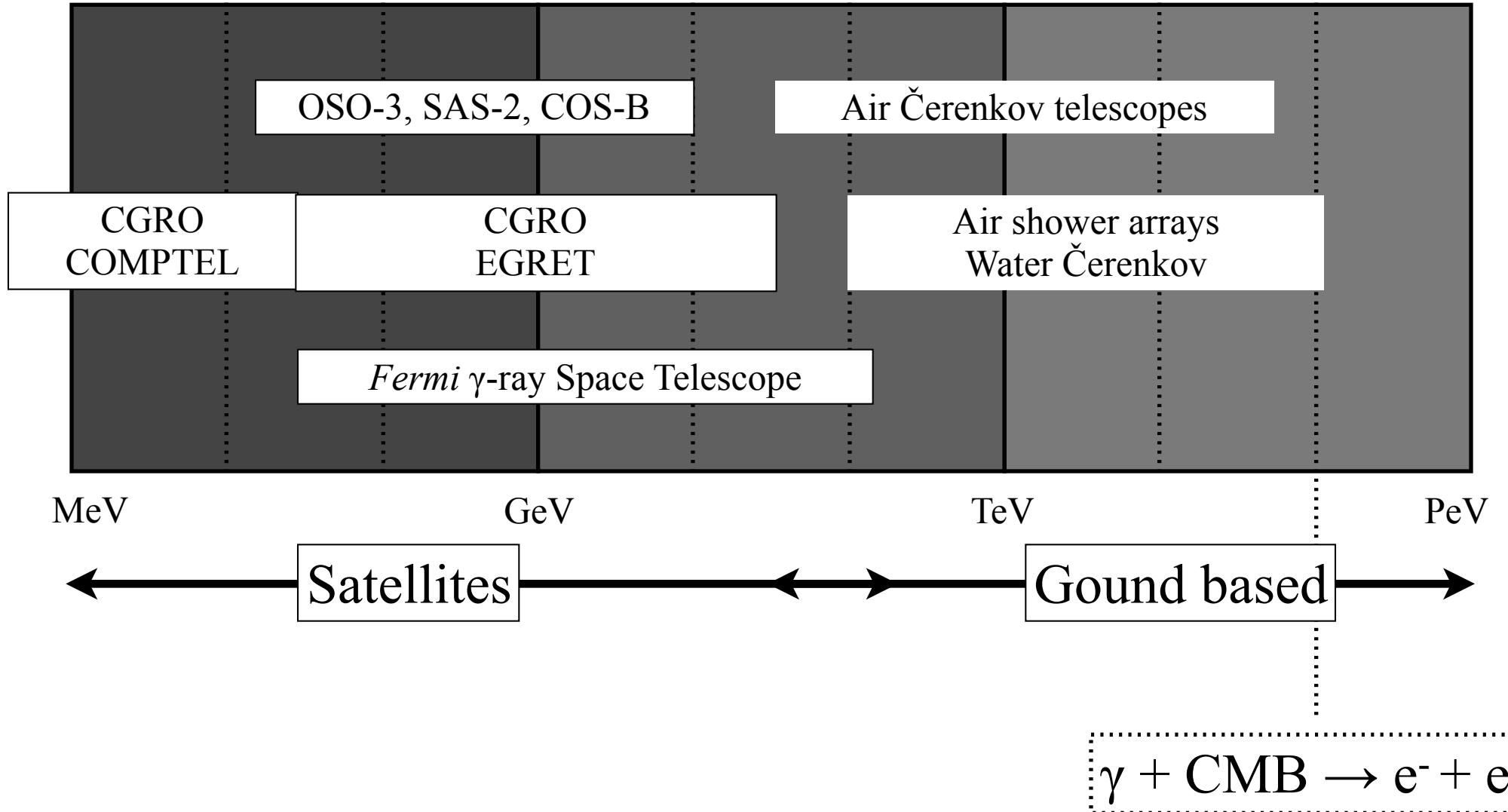
CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



10

La banda de rayos γ



Sr

Telescopios de producción de pares

0.1 - 100 GeV

En el espacio: área efectiva pequeña
Prácticamente libres de ruido
Gran campo de visión y alto ciclo de operación
Relevamientos del cielo & monitoreo
Eventos episódicos (AGN, GRB)
Emisión difusa extendida

FoV



Deg

GeV

E

TeV

Detectores de superficie

100 GeV - 100 TeV

Gran área eficaz
Buena discriminación del ruido
Gran campo de visión y alto ciclo de operación
Relevamientos parciales & monitoreo
Fuentes extendidas
Eventos episódicos (AGN, GRB)
Energías más altas

Telescopios Cherenkov atmosféricos

30 GeV - 100 TeV

Gran área eficaz
Excelente discriminación del ruido
Campo de visión pequeño y bajo ciclo de operación
Estudio detallado de fuentes conocidas
Relevamientos profundos poco extensos
Espectros con alta resolución



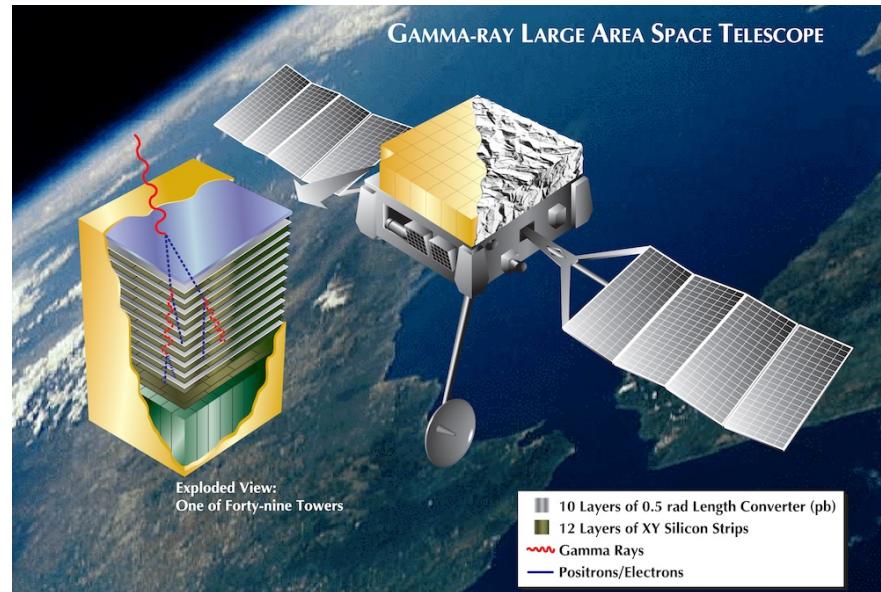
CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



12

Sr



FoV



Deg

E

GeV

TeV



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



13



HAWC

Observatorio Cherenkov de agua de segunda generación - construido con la experiencia de MILAGRO.

Ubicado en Sierra Negra a mayor altitud 4100m (2600m) y menor latitud 19°N

- $4 \times$ área de muestreo ($22,000\text{m}^2$)
- $10 \times$ área de detección de muones ($22,000\text{m}^2$)
- Aislamiento óptico de los elementos detectores
- $15 \times$ sensitivo que Milagro

Rango de energía 100 GeV - 100 TeV :: detector de rayos cósmicos.

Campo de visión: 1/6 del cielo => cobertura de 2/3 del cielo cada día sideral.



HAWC

Observatorio Cherenkov de agua de segunda generación - construido con la experiencia de MILAGRO.

Ubicado en Sierra Negra a mayor altitud 4100m (2600m) y menor latitud 19°N

- $4 \times$ área de muestreo ($22,000\text{m}^2$)
- $10 \times$ área de detección de muones ($22,000\text{m}^2$)
- Aislamiento óptico de los elementos detectores
- $15 \times$ sensitivo que Milagro

Rango de energía 100 GeV - 100 TeV :: detector de rayos cósmicos.

Campo de visión: 1/6 del cielo => cobertura de 2/3 del cielo cada día sideral.



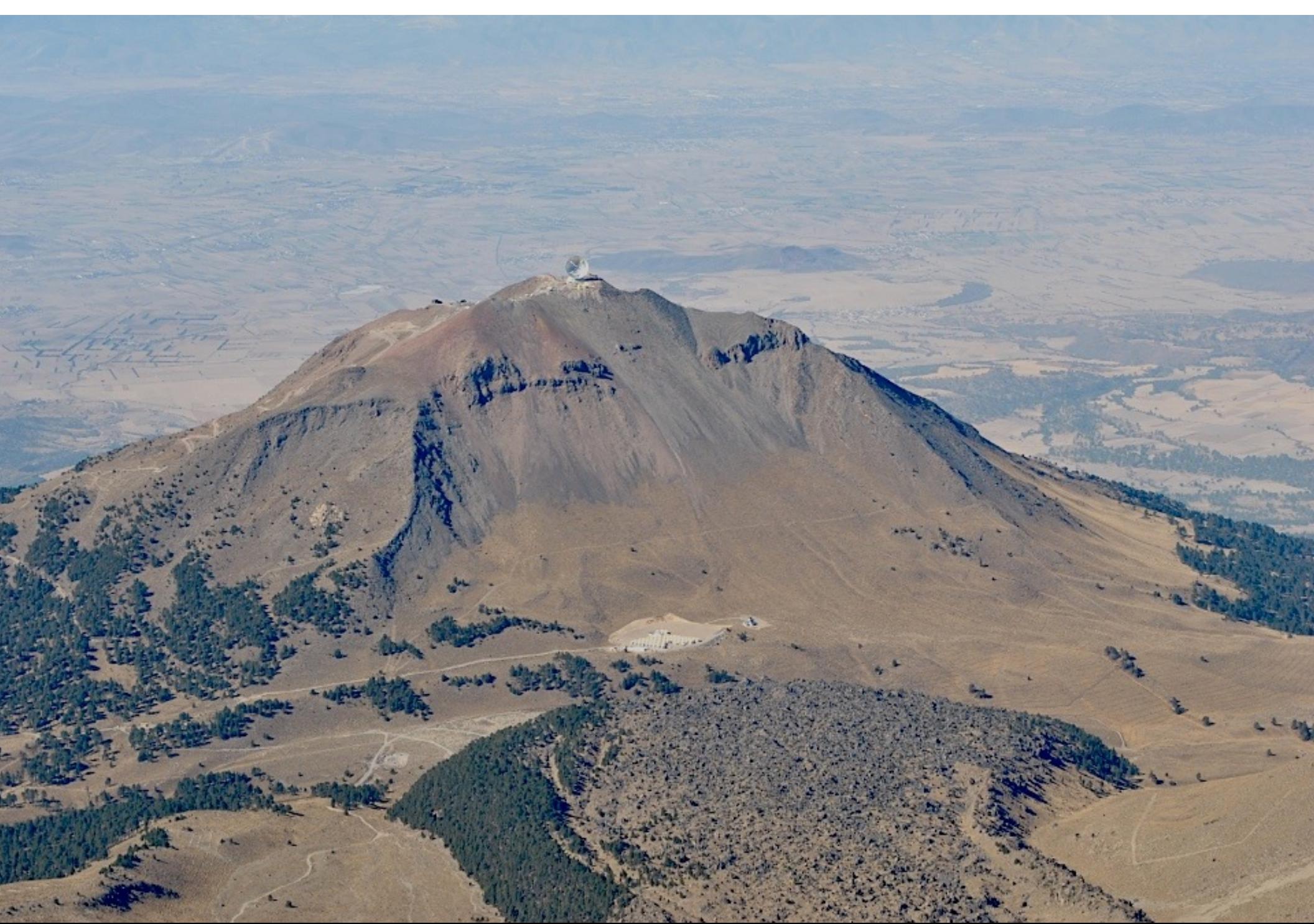
¡HAWC no es un detector de neutrinos!

Neutrinos y rayos γ

Colisiones de protones de alta energía:

- $p + N \rightarrow p + N + \pi^\pm + \pi^0$
- $\pi^\pm \rightarrow \mu^\pm + \nu_\mu$
- $\mu \rightarrow e + \nu_e + \nu_\mu$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

Al producir neutrinos de alta energía se producen rayos γ .

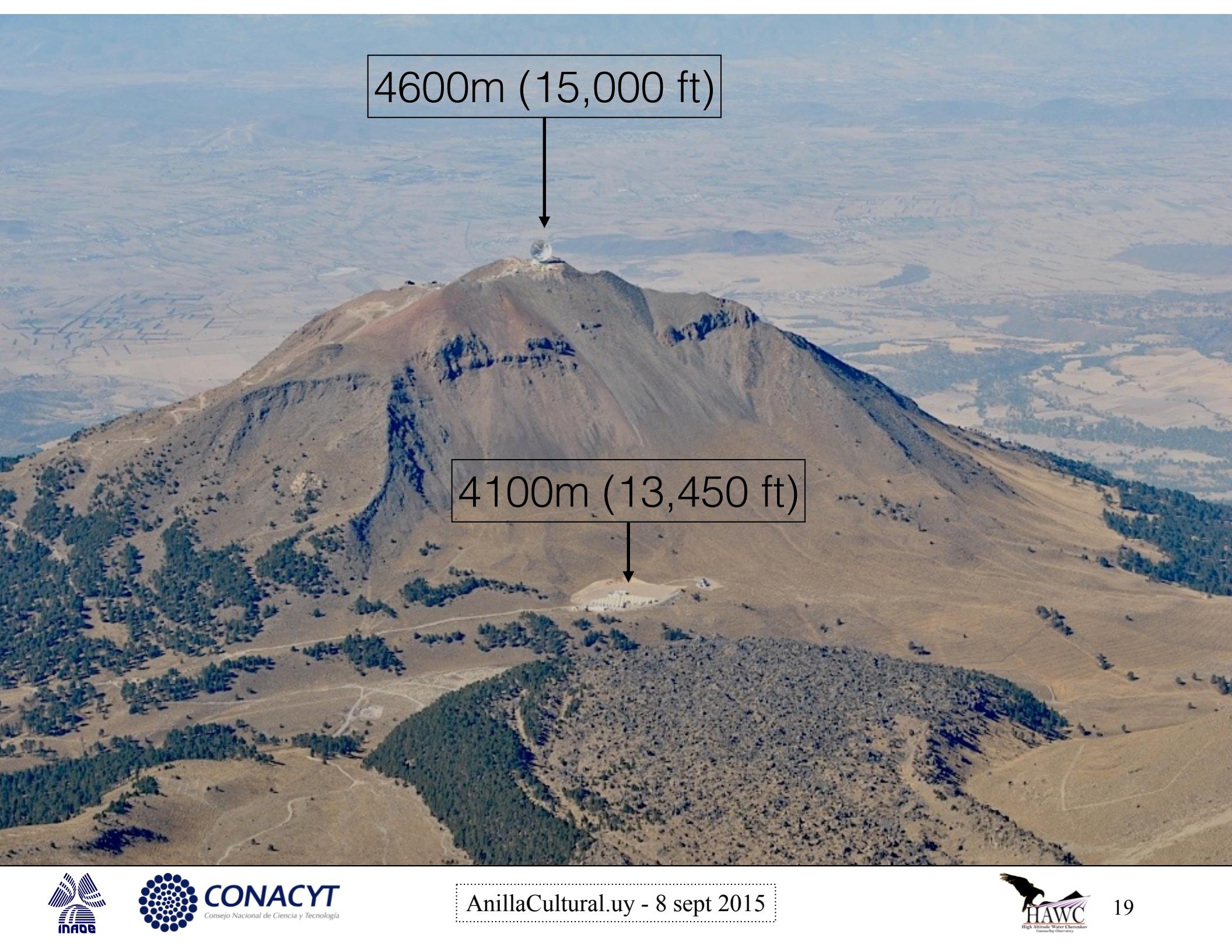


CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



18



4600m (15,000 ft)



4100m (13,450 ft)



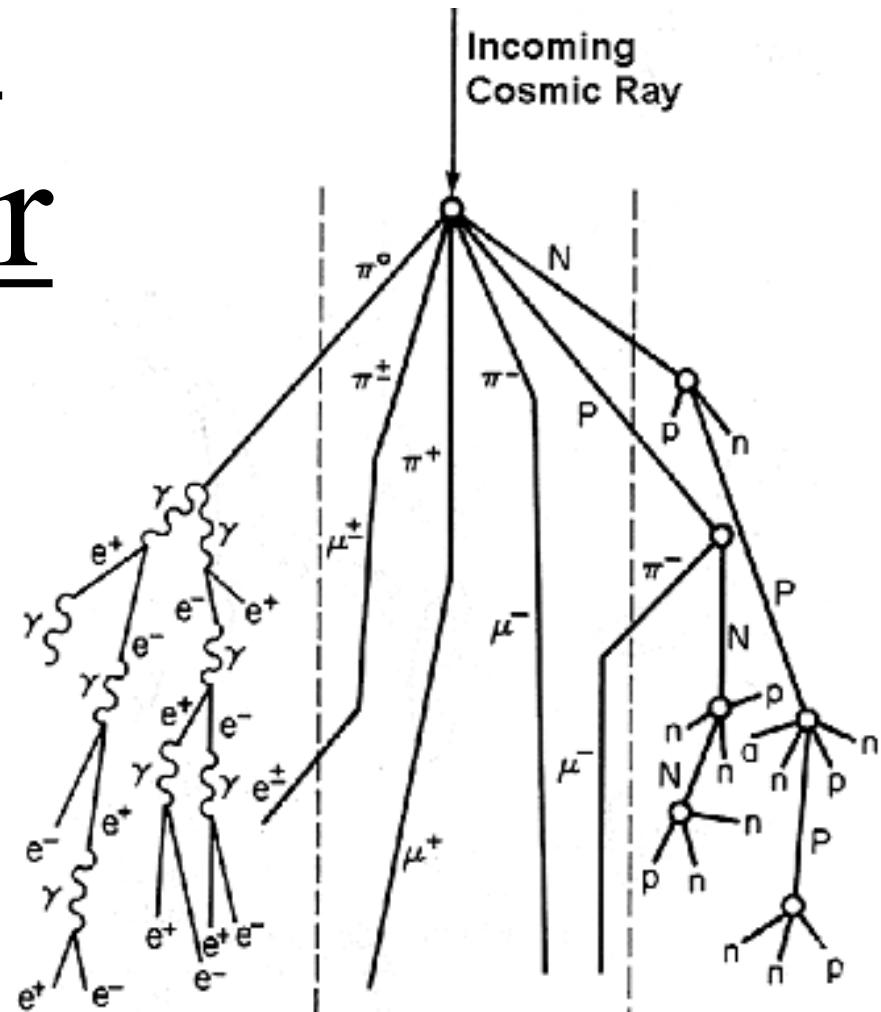
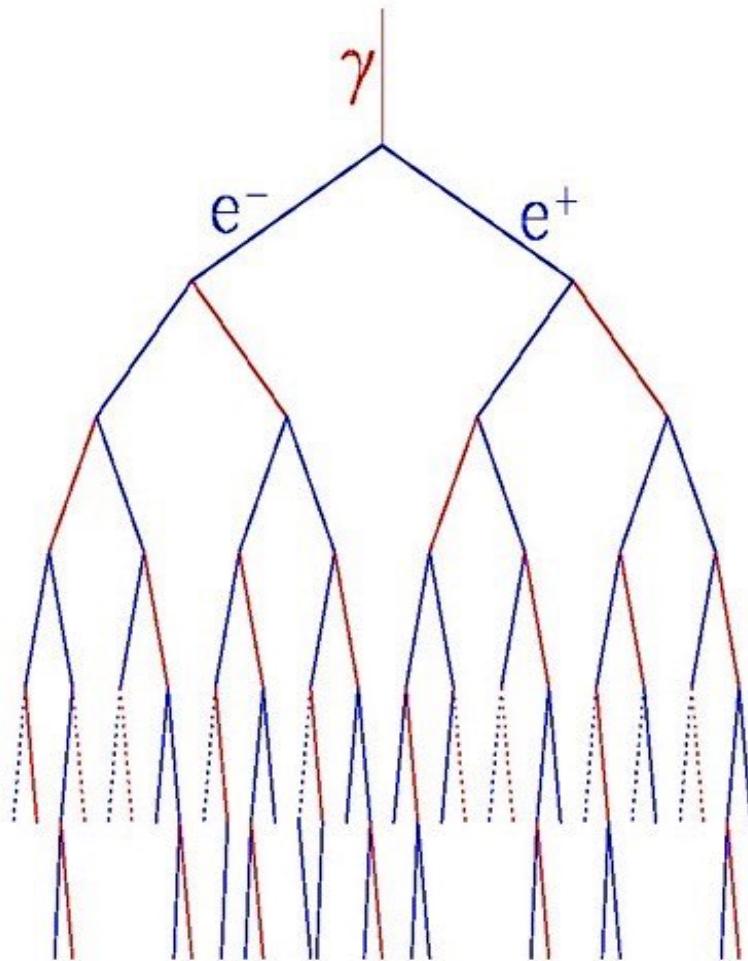
CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



19

La atmósfera es parte del detector



KEY

P	Proton	e	Electron
n	Neutron	μ	Muon
π	Pion	γ	Photon



HAWC es un detector de cascadas atmosféricas compacto
Ocupa 22,500 m² de los cuales 12,000m² instrumentados
Arreglo de 300 detectores Cherenkov individuales - diseño modular:
• Instalación en fases: ingeniería, verificación, ciencia temprana
• Ambientalmente favorable



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

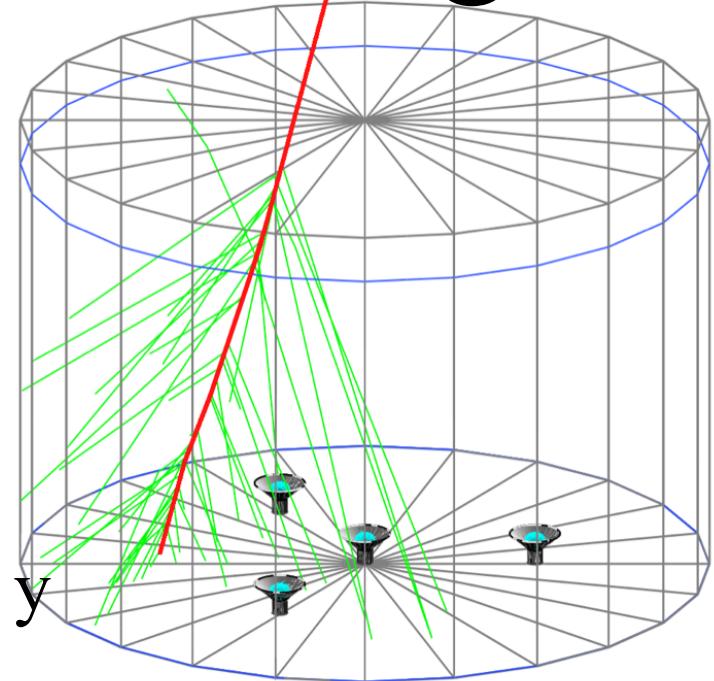
AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



Detectores Cherenkov de agua

- Cada tanque detector contiene 180,000 litros de agua tratada para asegurar un alto nivel de transparencia.
- Cada WCD tiene 3(8") + 1(10") tubos fotomultiplicadores de respuesta rápida y alta eficiencia.
- Cada WCD está conectado a la caseta central para control, transferencia de datos y señal de calibración.

WCD = Water Cherenkov Detector





HAWC-100
Sept 2013



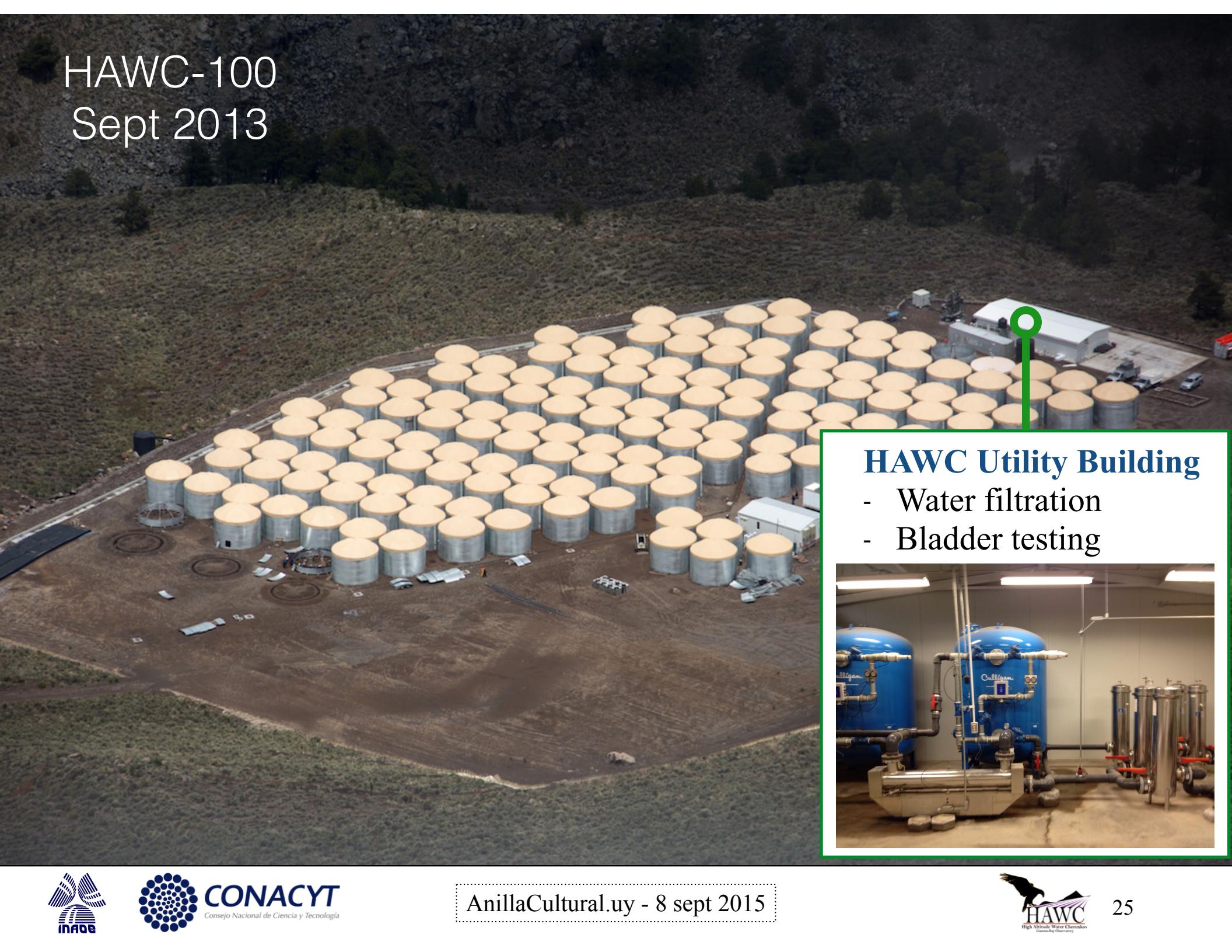
CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



24

HAWC-100
Sept 2013



HAWC Utility Building

- Water filtration
- Bladder testing



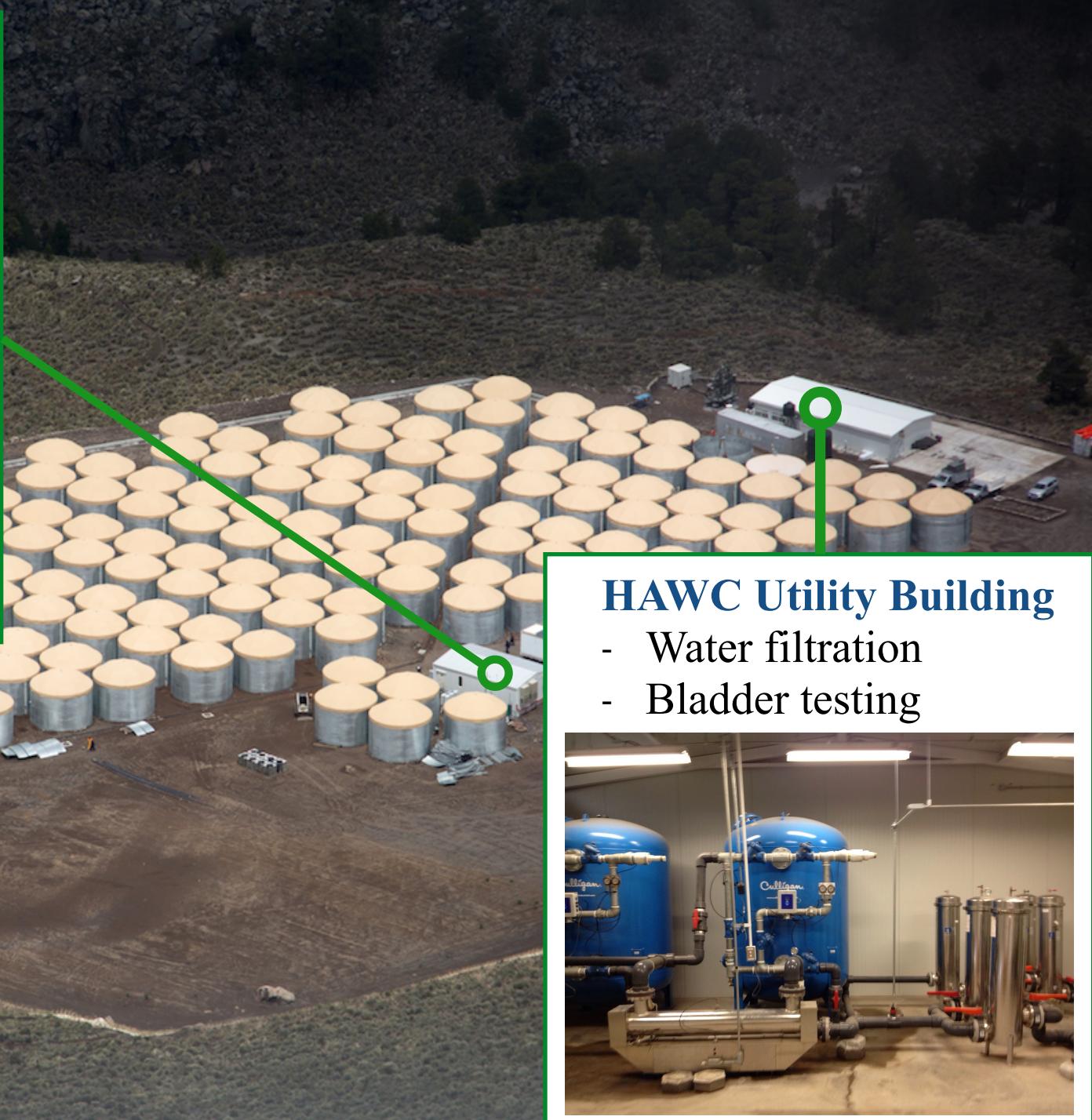
CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

AnillaCultural.uy - 8 sept 2015



Counting house

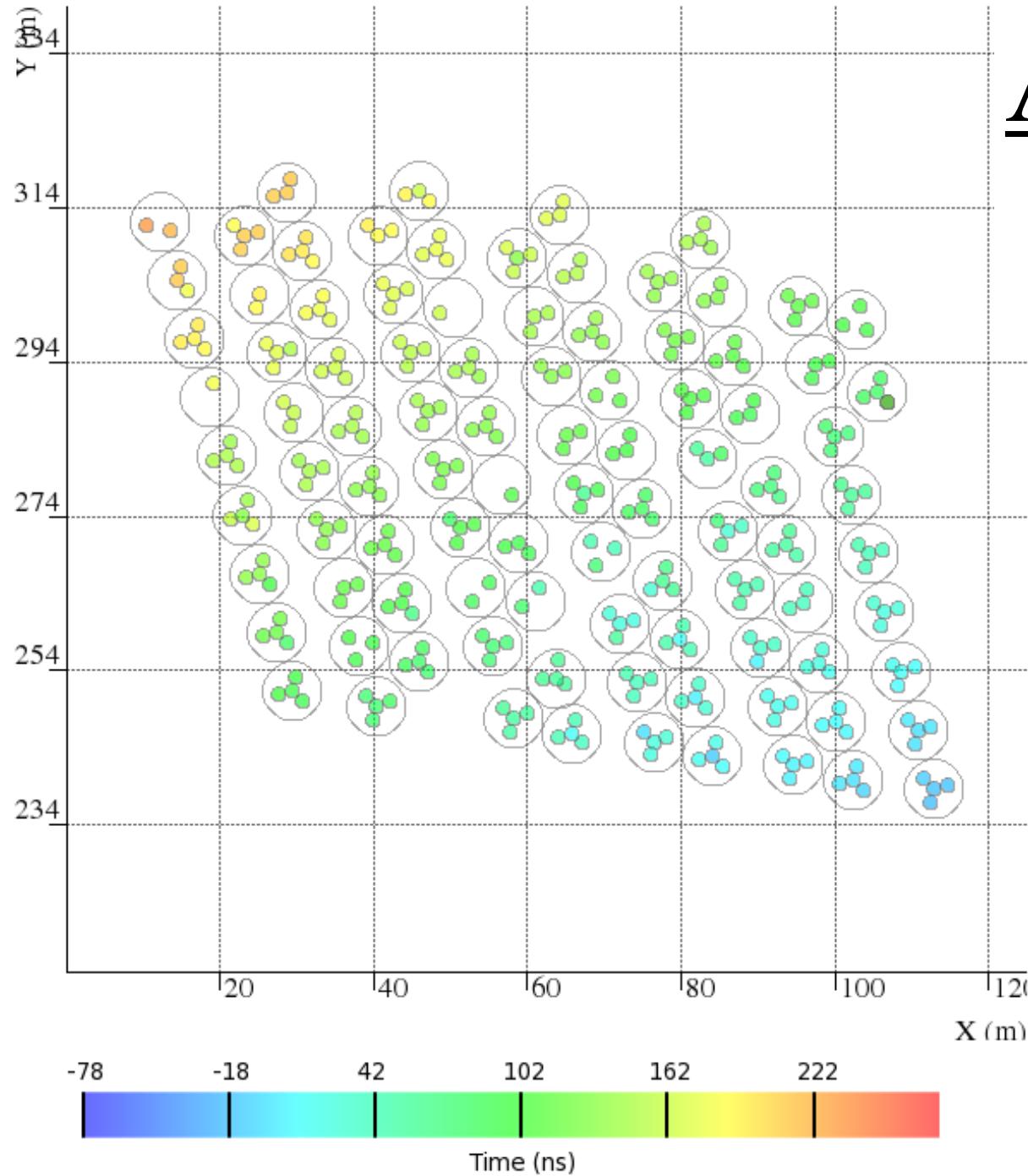
- DAQ & laser calibration
- system



Alta resolución temporal

El tiempo relativo de llegada indica la dirección de arriba de las partículas

La resolución temporal es la resolución posicional de HAWC.

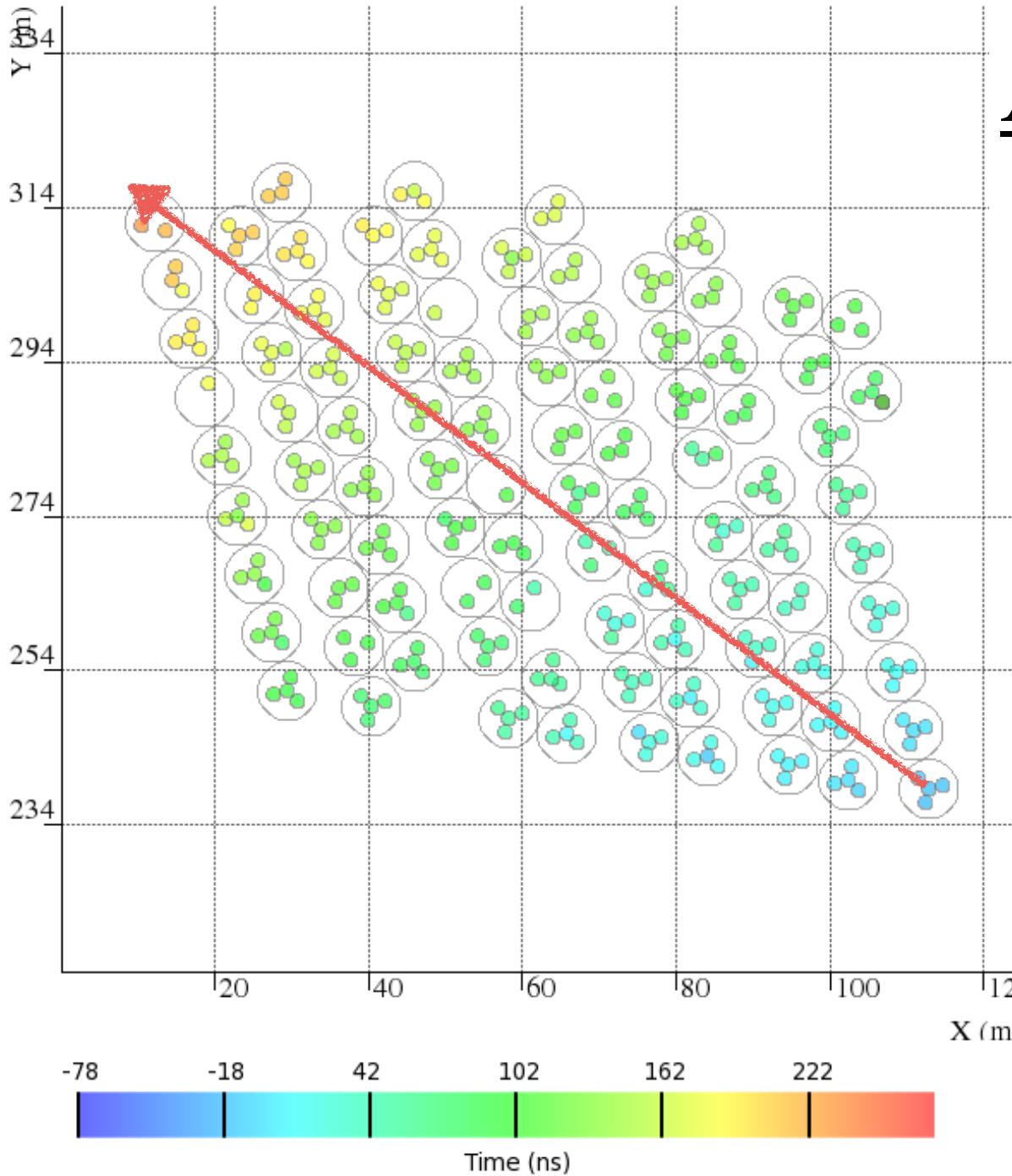


Alta resolución temporal

El tiempo relativo de llegada indica la dirección de arriba de las partículas

Espaciamiento entre tanques 25 a 50 ns-luz

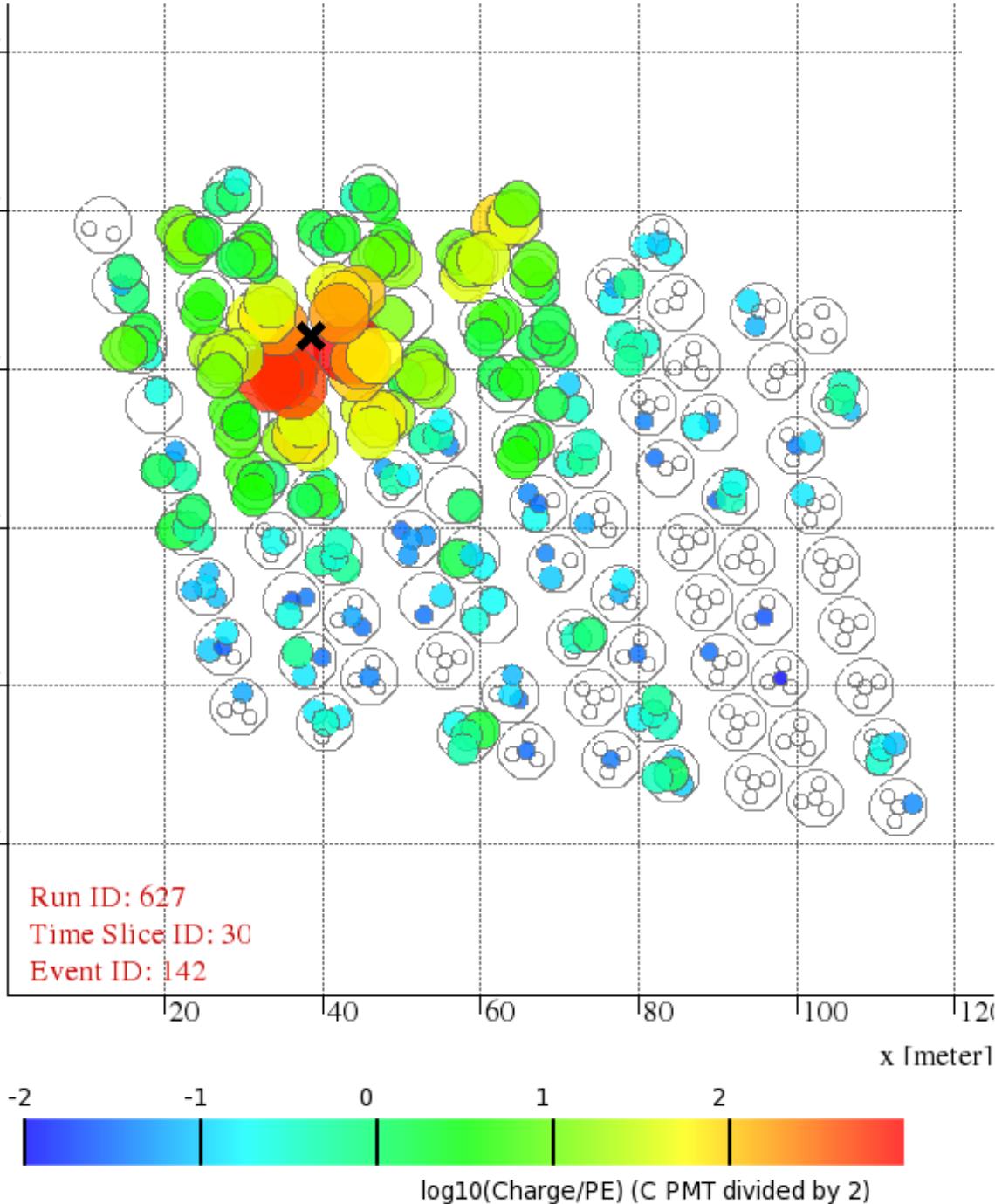
Se determina la llegada de las partículas con una precisión mejor a 1ns.



Depósito de energía

Pulsos individuales de luz por cada fototubo:

- Estimación de energía.
- Separación entre fotones y hadrones.



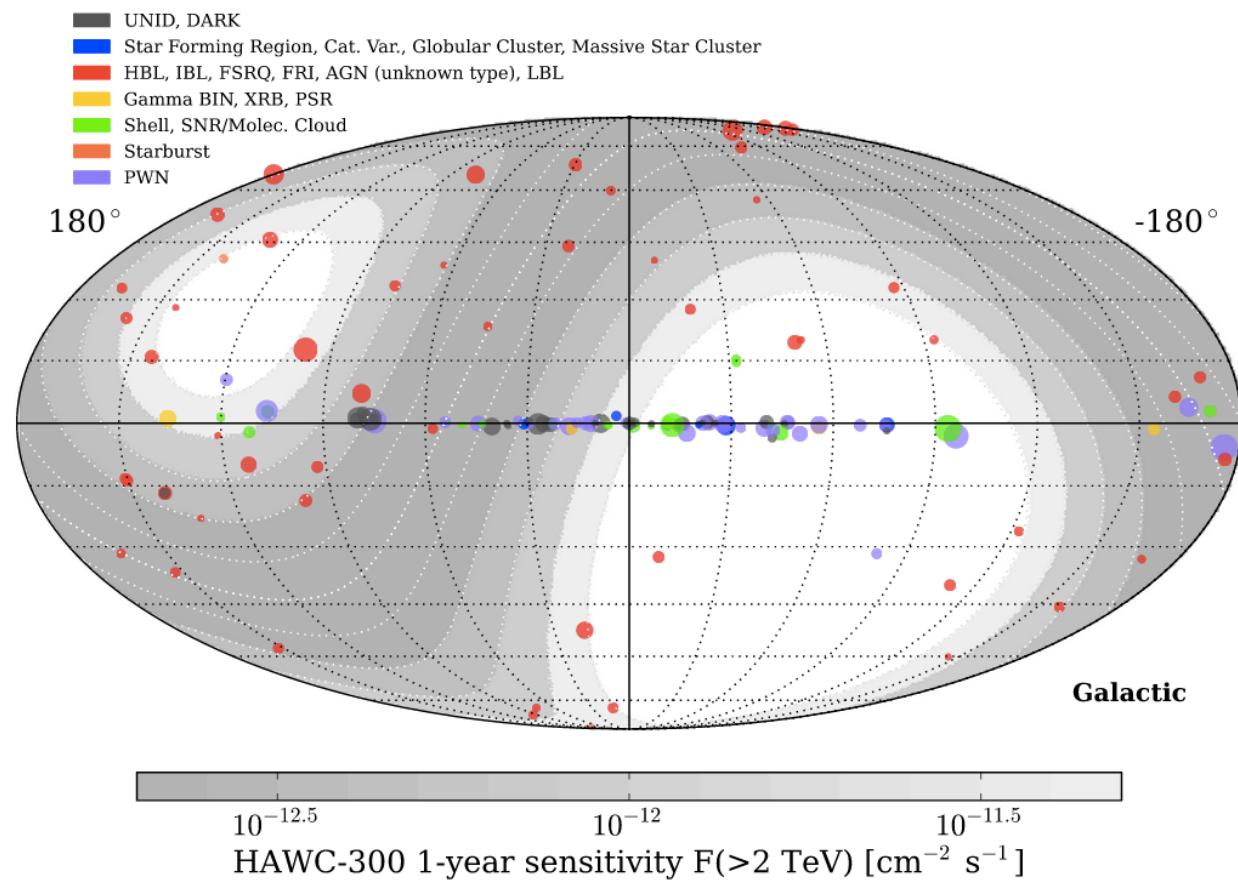
Sensitividad y campo de visión

Instrumento de tránsito

FOV = 1.8 Sr ($\Delta\theta = 45^\circ$)

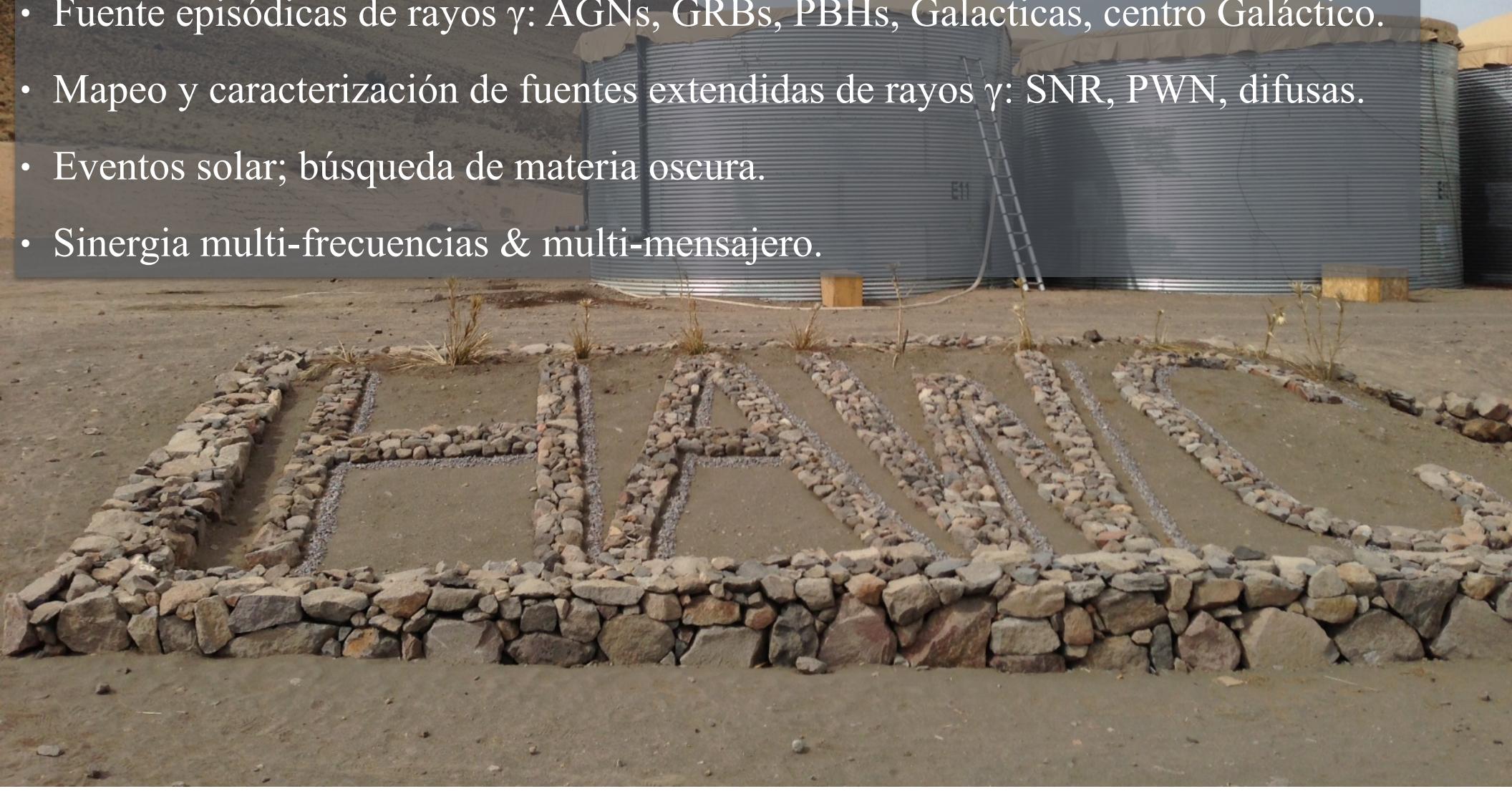
HAWC sondea 2/3 del firmamento cada día con una profundidad de 1 Crab @ 5 σ :

- eventos episódicos
- fuentes difusas extendidas
- 60 mCrab / sqrt(año)



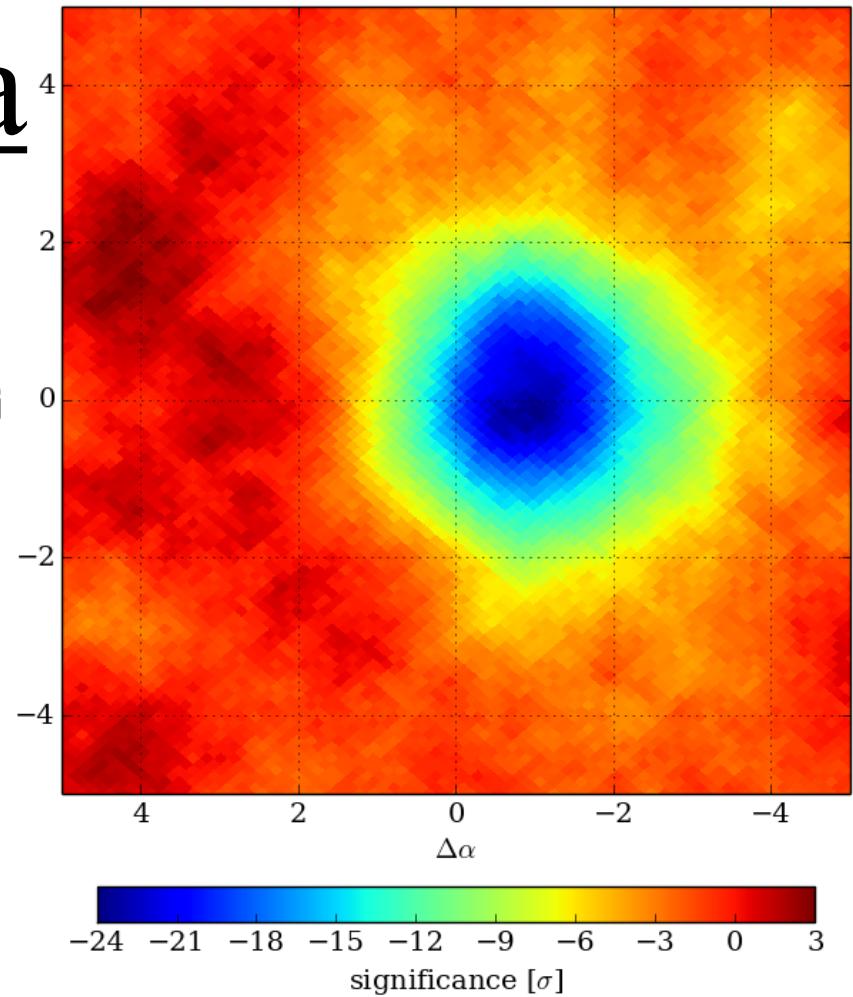
La ciencia de HAWC

- Mapeo parcial del firmamento:
 - mapeo de 2/3 del cielo y 2/3 del plano Galáctico.
 - Rayos cósmicos: anisotropía.
- Fuente episódicas de rayos γ : AGNs, GRBs, PBHs, Galácticas, centro Galáctico.
- Mapeo y caracterización de fuentes extendidas de rayos γ : SNR, PWN, difusas.
- Eventos solar; búsqueda de materia oscura.
- Sinergia multi-frecuencias & multi-mensajero.



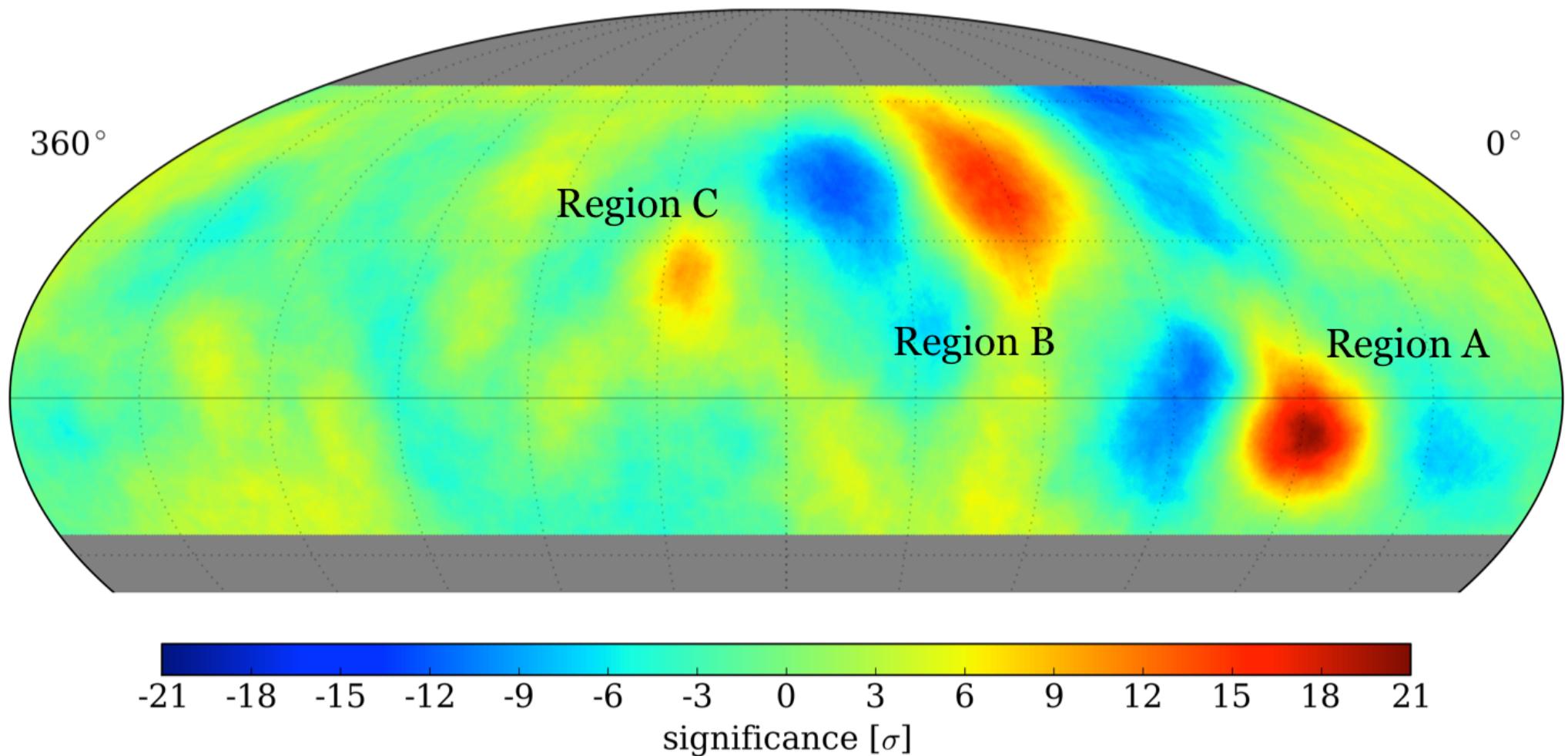
Sombra de la Luna

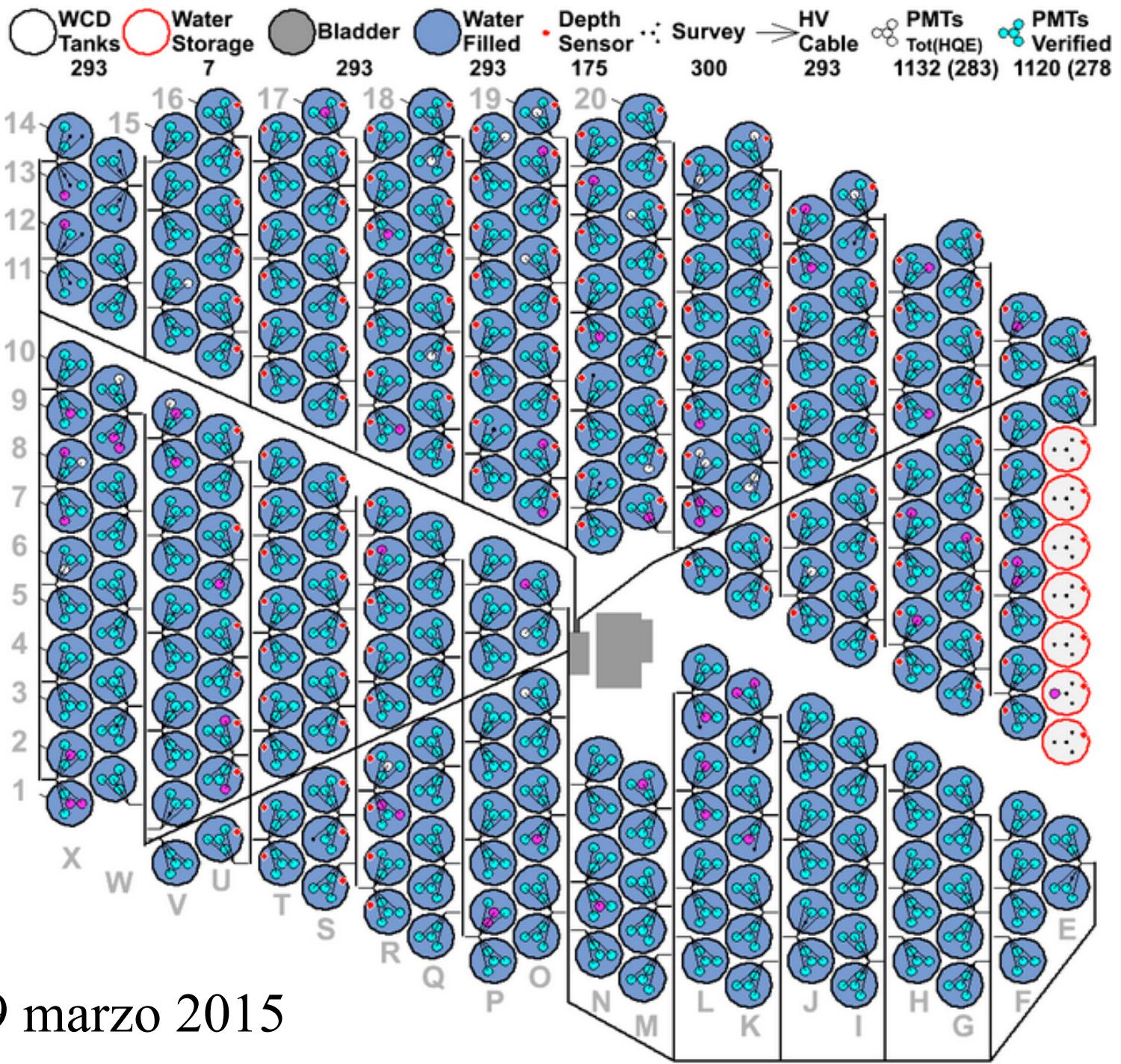
- Una de las primeras observaciones de verificación es detectar la sombra de la Luna en el fondo de rayos cósmicos.
- Datos de junio 2013 a julio 2014 con HAWC-95 a HAWC-111:
 - 181 días de datos considerados (4332 horas)
 - 85.6 mil millones de eventos



Abeysekara et al.
ApJ 796, 108 (2014)
astro-ph/1408.4085

Anisotropía de rayos cósmicos

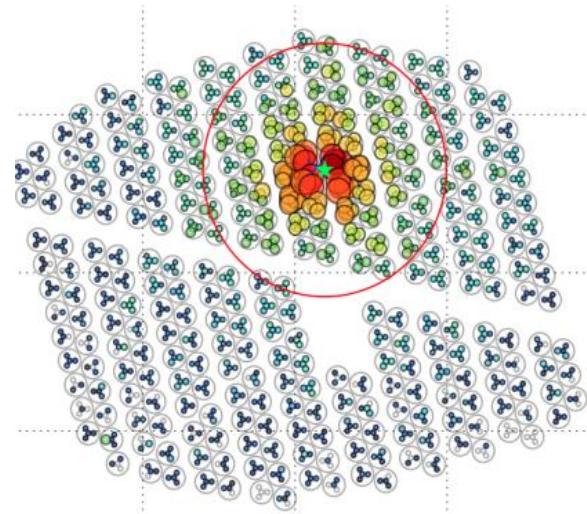
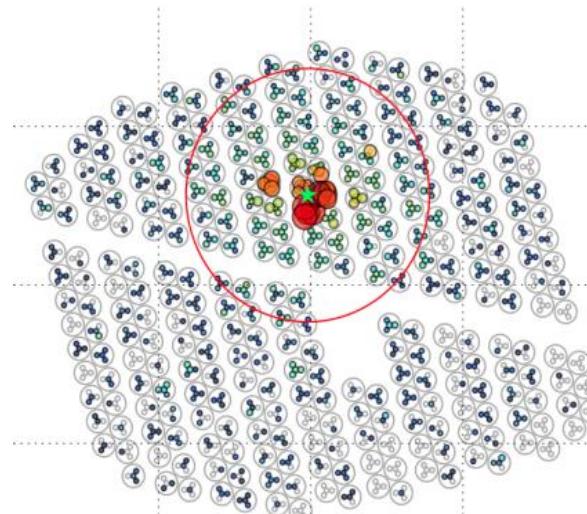




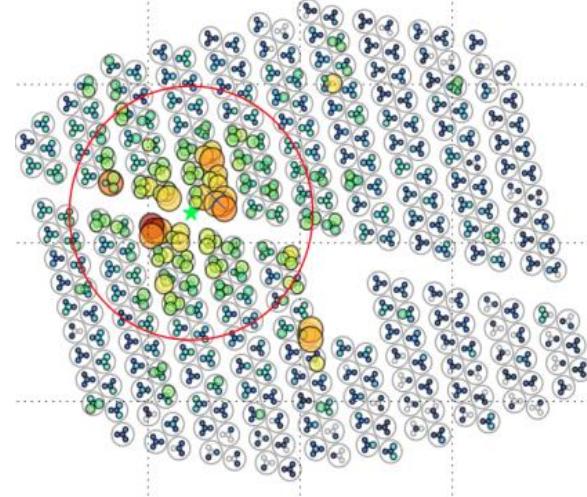
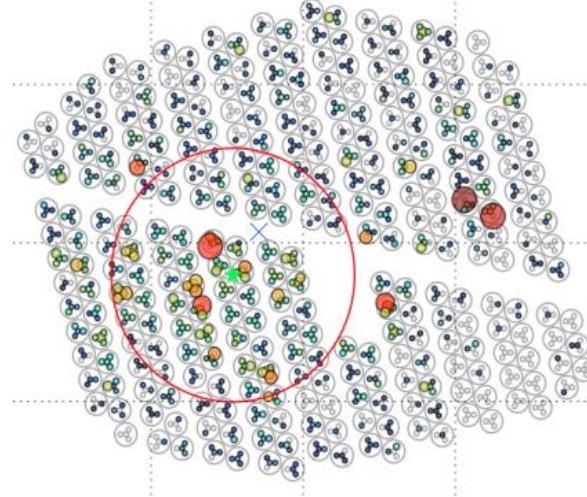
HAWC - 19 marzo 2015

Discriminación fotón / ladrón

Rayo γ



Hadrón



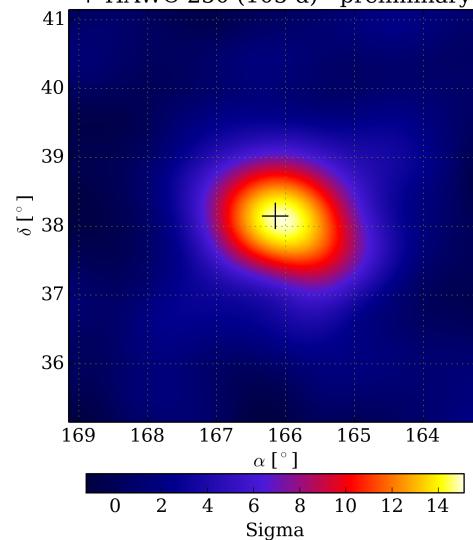


HAWC 300 Full operations

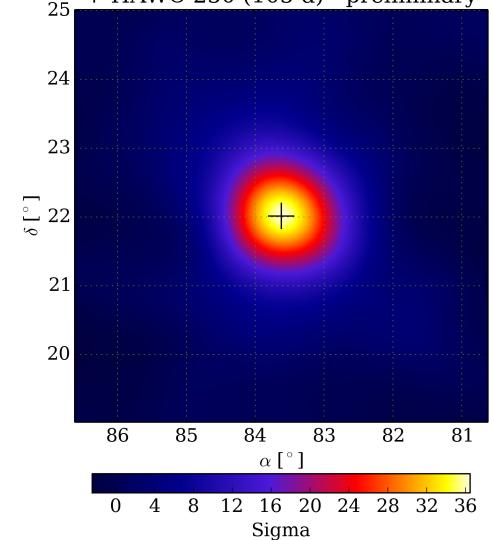
DATE: 03/20/2015
TIME: 12:26:30



Mrk421: HAWC-111 (283 d)
+ HAWC-250 (105 d) - preliminary

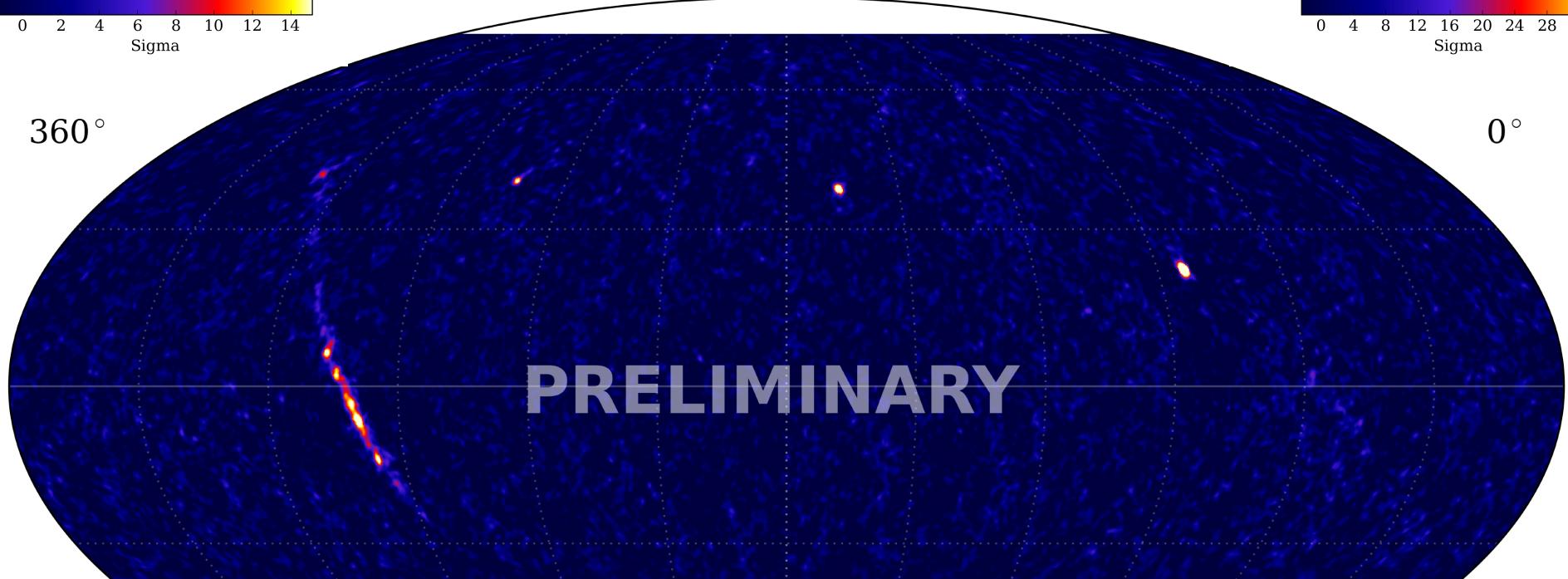


Crab: HAWC-111 (283 d)
+ HAWC-250 (105 d) - preliminary



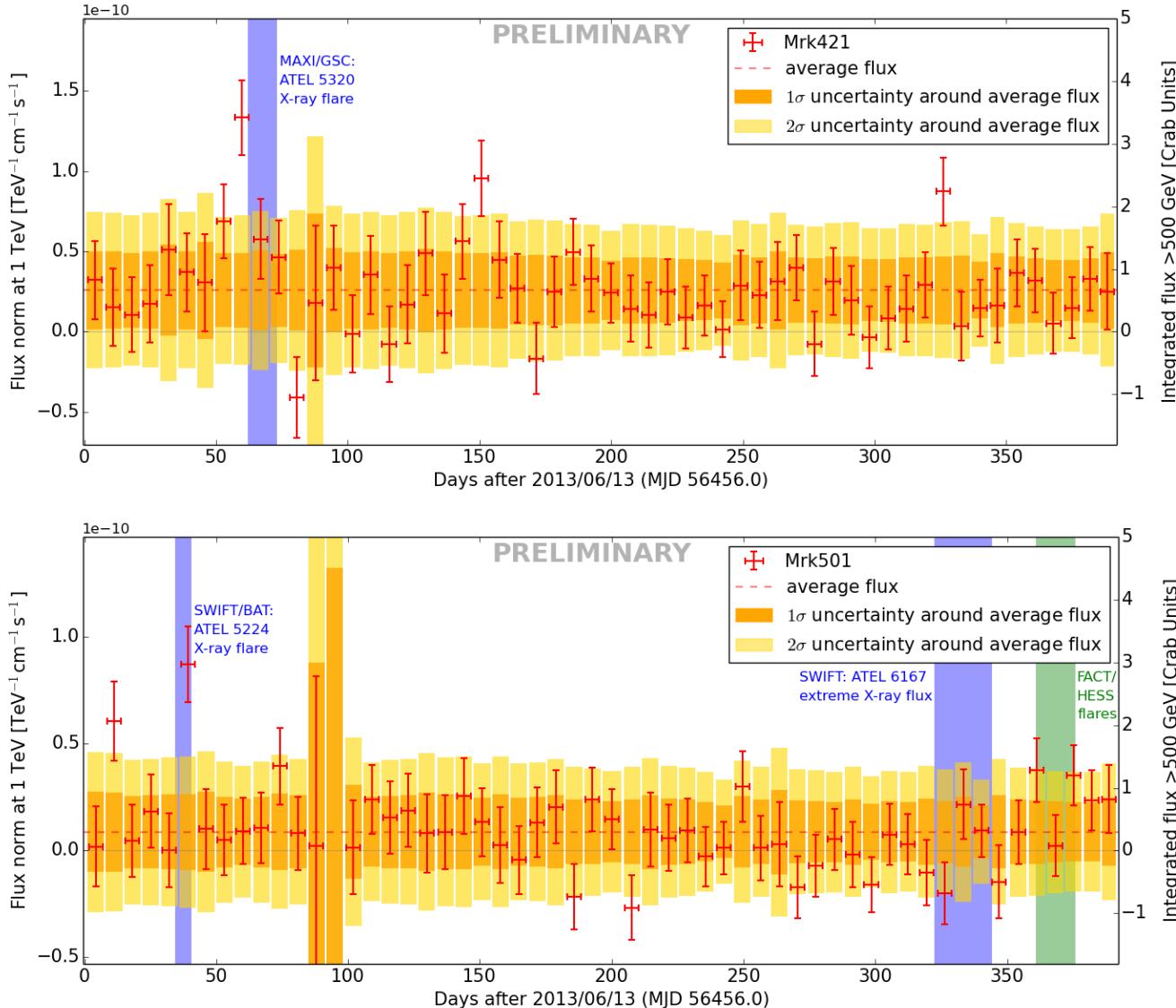
Mapa celeste de HAWC

HAWC-111 (283 d) + HAWC-250 (105 d)



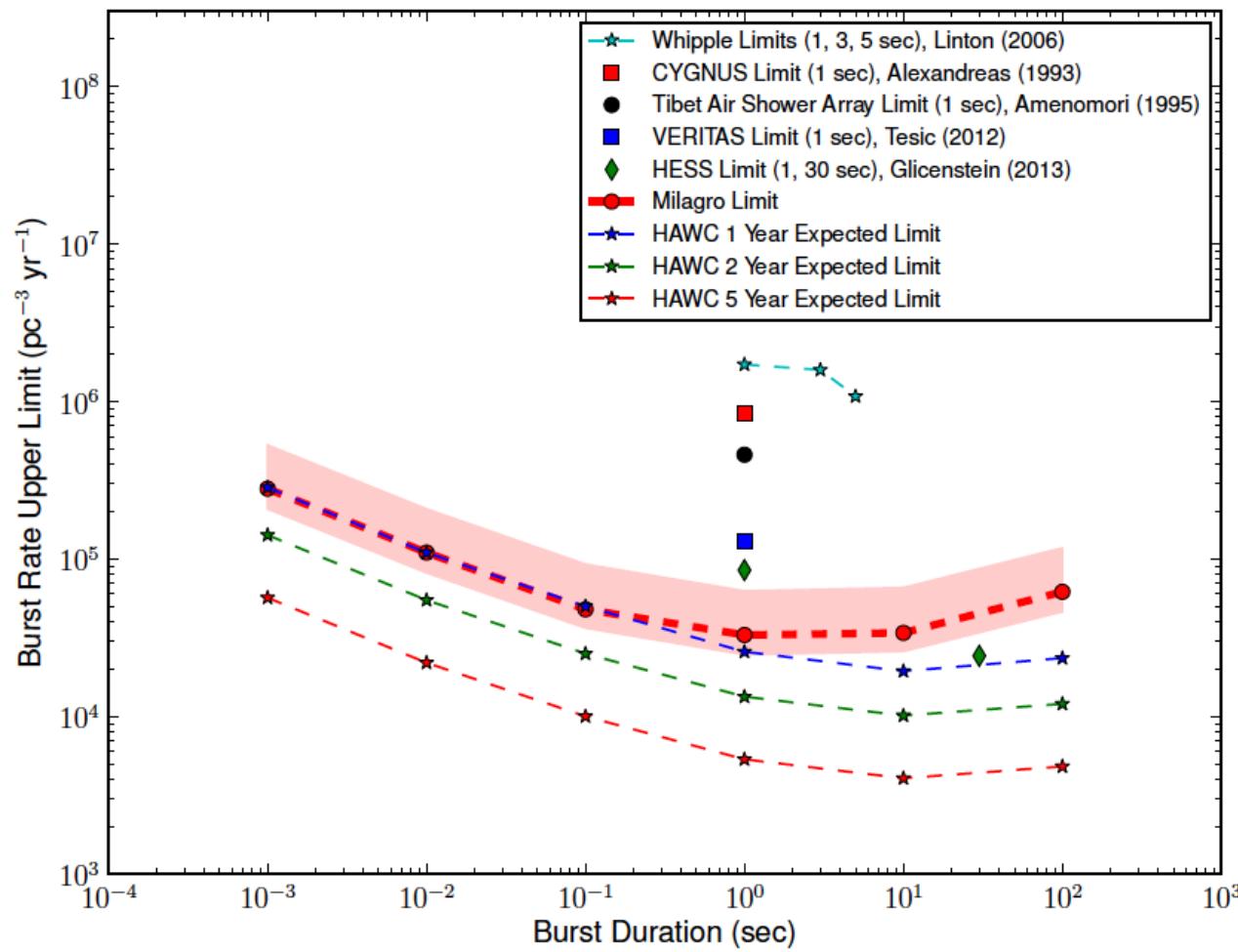
Monitoreo de galaxias activas

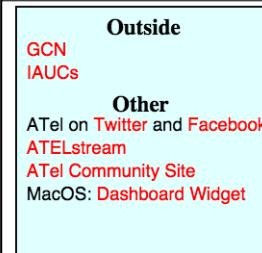
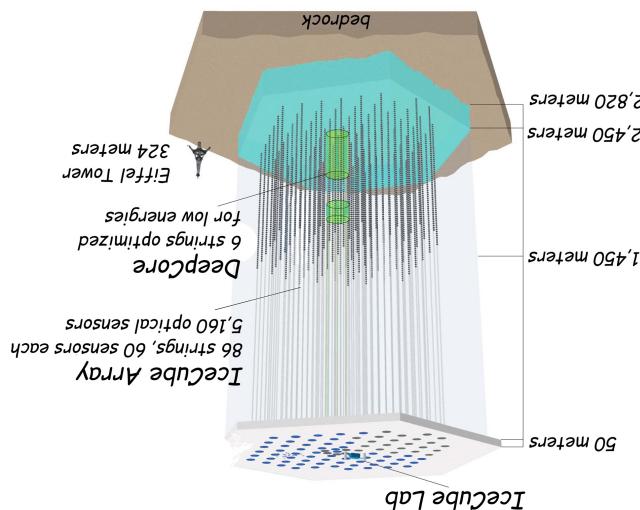
- HAWC monitorea de manera diaria los blazares Mrk 421 y Mrk 501.
- También inició la búsqueda de GRBs.



Hoyos negros primordiales

- Algunas teorías del Universo temprano predicen la formación de hoyos negros “primordiales”.
- De acuerdo a Hawking estos deben emitir radiación de manera inversa con la masa.
- Hoyos negros con masas de 10^{15} g se estarían evaporando hoy en día.





The Astronomer's Telegram

[Post](#) | [Search](#) | [Policies](#)
[Credential](#) | [Feeds](#) | [Email](#)

8 Sep 2015; 00:29 UT

[[Previous](#) | [Next](#) | [ADS](#)]

HAWC TeV gamma-ray follow-up observation of the sky region of IceCube's multi-PeV neutrino-induced event

ATel #7868; *Ignacio Taboada (GATECH) on behalf of the HAWC collaboration*

on 3 Aug 2015; 13:25 UT

Credential Certification: Alberto Carramiñana (alberto@inaoep.mx)

Subjects: Gamma Ray, VHE, Neutrinos, Transient

[Tweet](#) 0 [Recommend](#) 10

We have studied HAWC TeV gamma-ray archival data in the sky region corresponding to the multi-PeV neutrino-induced event reported by IceCube (ATel # 7856). Putative cosmic ray sources that produce neutrinos are also expected to produce gamma-rays with approximately the same spectrum. If the source is transient, the neutrino light-curve is expected to be very similar to the gamma-ray light-curve. An observation by HAWC is possible, if, the neutrino spectrum extends from the observed PeV scale to the TeV energy scale to which HAWC is sensitive, and if source is not distant enough that the gamma-rays are attenuated by extragalactic background light. For TeV scale gamma-rays, sources can be observed if they are closer than approximately redshift 0.1. HAWC is a gamma-ray observatory, operating in central Mexico. It has an instantaneous field of view of about 2 sr. It can operate continuously, day or night and in any weather conditions. Over the course of a day, HAWC observes over half the sky in TeV gamma rays. HAWC, began full operations on March 20, 2015, but operated in partial configurations previously. Though the declination of the event is ideal for observations by HAWC, at the time, this region of the sky was at the occulted by Earth. Therefore, we could not perform a search in strict temporal coincidence. We conducted the follow up search using 5 different time periods. None of these searches found a gamma-ray source. In all five studies a region of 2 degrees by 2 degrees centered at the location reported by IceCube was searched. This matches the 1 degree uncertainty reported by IceCube for 99% containment of the PSF. The time periods studied are: 1) August 2, 2013 to May 6, 2015: Time integrated search 2) June 10, 2014: Sidereal day before the neutrino 3) June 11, 2014: Sidereal day after the neutrino 4) June 10-13, 2014: Four sidereal days around the time of the neutrino 5) June 15, 2014: Ten sidereal days around the time of the neutrino For the time integrated search, we used data from the partially built HAWC (aka HAWC-111, or 37% of final detector size and 283 days effective live-time) from August 2nd, 2013 to July 7th, 2014 and data with a second partially built HAWC (aka HAWC_250, 83% of final size and 150 days effective live-time) from November 26, 2014 to May 6th, 2015. The date of the neutrino event, June 11th, 2014, corresponds to the end of operation of HAWC-111. The preliminary 5 sigma discovery potential for this first search is (E^2 flux) $1.9 \cdot 10^{-12} \text{ TeV}/\text{cm}^2/\text{s}$ at 100TeV assuming a power law flux with index of -2.3. For the other time periods the preliminary one day discovery potential was $3.9 \cdot 10^{-11} \text{ TeV}/\text{cm}^2/\text{s}$ at 100TeV with a power-law index of -2.3. The discovery potential scales as the square root of time. The HAWC contact for this observation are Ignacio Taboada (Georgia Institute of Technology, itaboada@gatech.edu) and Michelle Hui (Michigan Technological University, cmhui@mtu.edu)

7868
7856

