



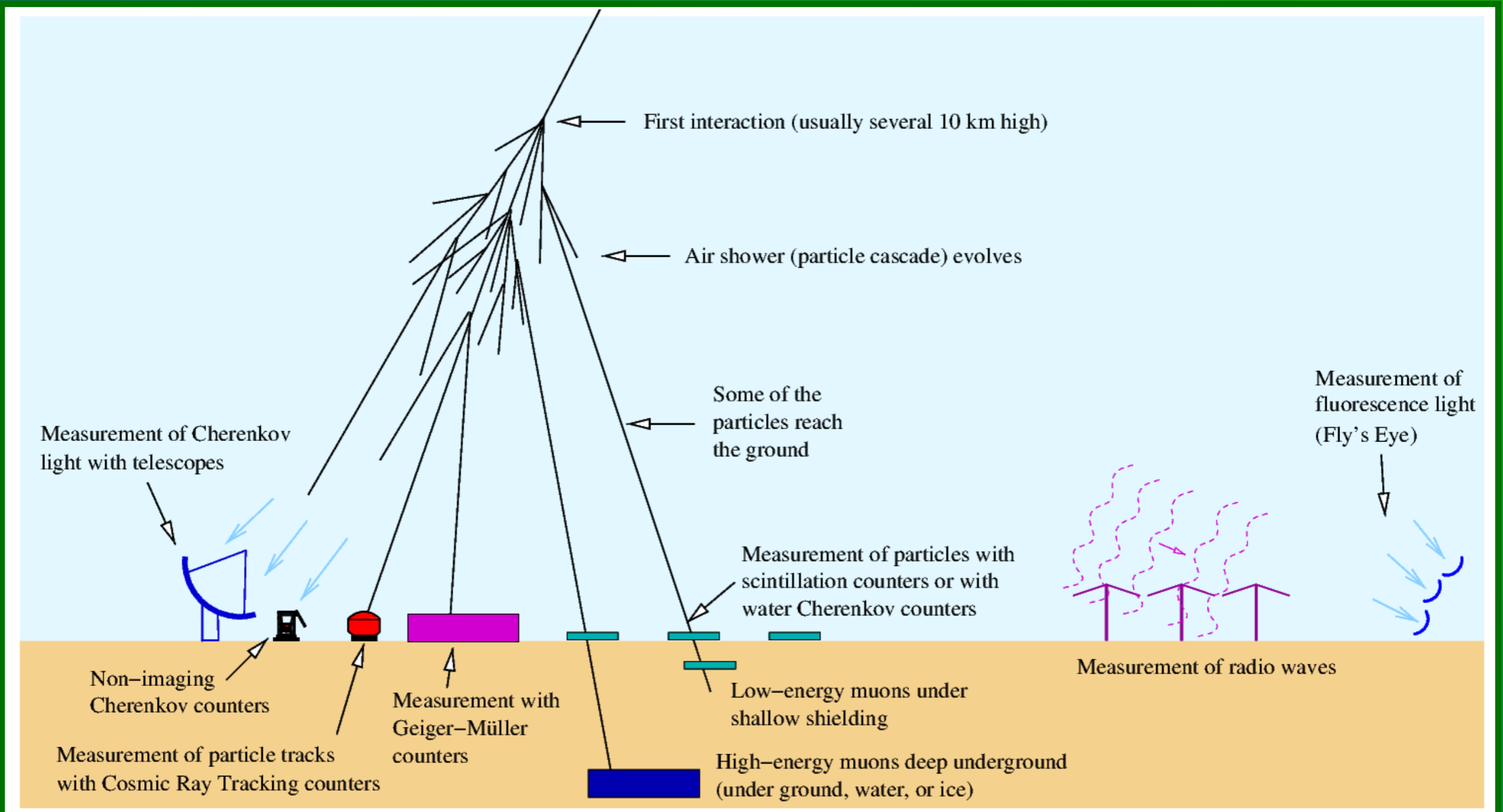
DETECCIONES HÍBRIDAS DE RAYOS GAMMA CON LOS TELESCOPIOS IACT COMPACTOS HAWC'S EYE Y EL OBSERVATORIO HAWC

JOSÉ SERNA

R. ALFARO, J. AUDEHM, T. BRETZ, O. CHAPARRO, G. DO, M.M. GONZÁLEZ, F. GONZÁLEZ, A. IRIARTE,
J. MARTÍNEZ, M. MARTÍNEZ, F. MASLOWSKI, F. REHBEIN, F. THISCHBEIN, I. TORRES Y M. SCHAUFEL

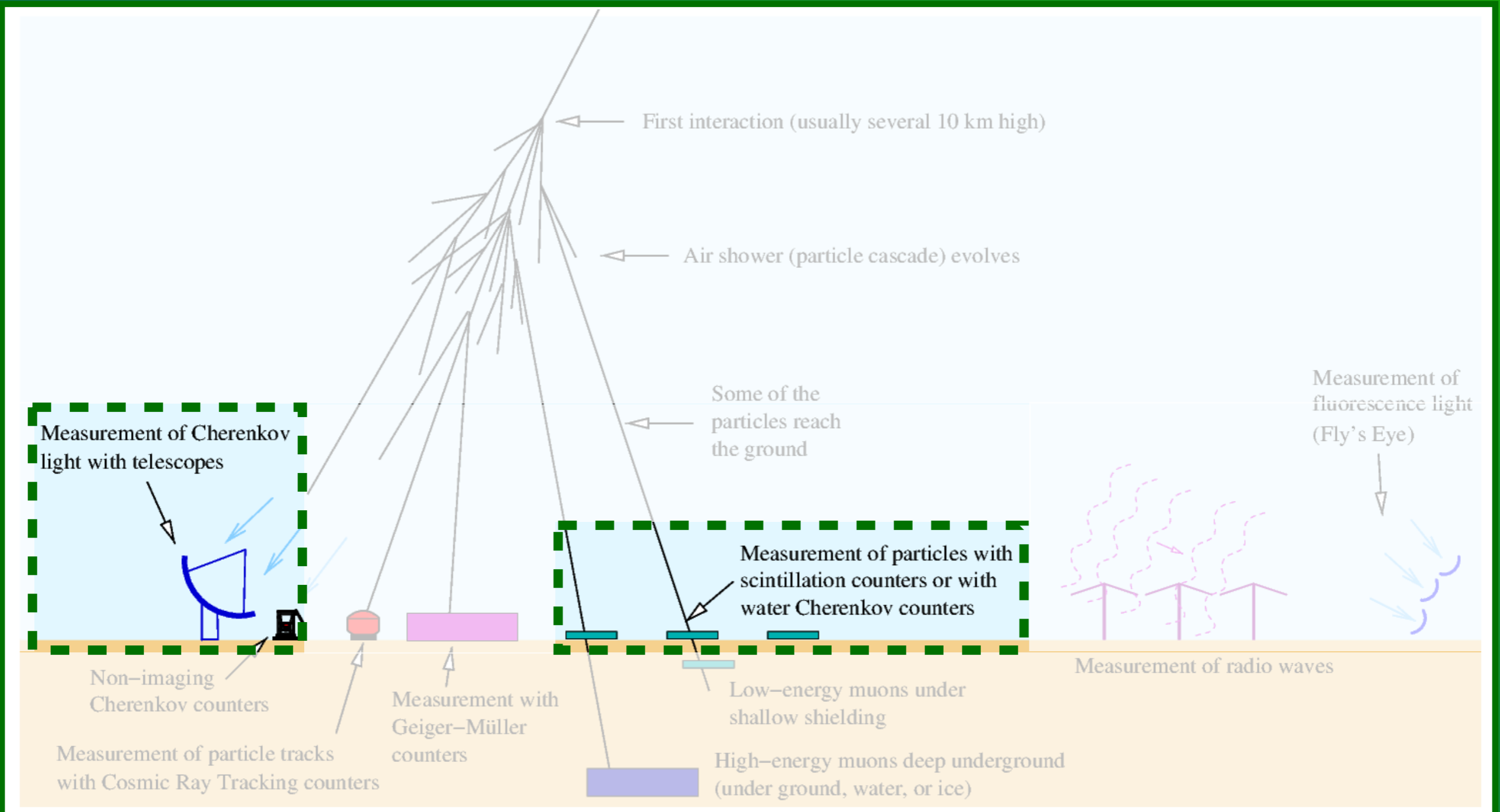
Instituto de Física, UNAM - j_serna@ciencias.unam.mx - Noviembre 2021
2021 Meeting of the Cosmic Ray Division of the Mexican Physical Society

INTRODUCCIÓN



<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/ShowerDetection.html>

INTRODUCCIÓN

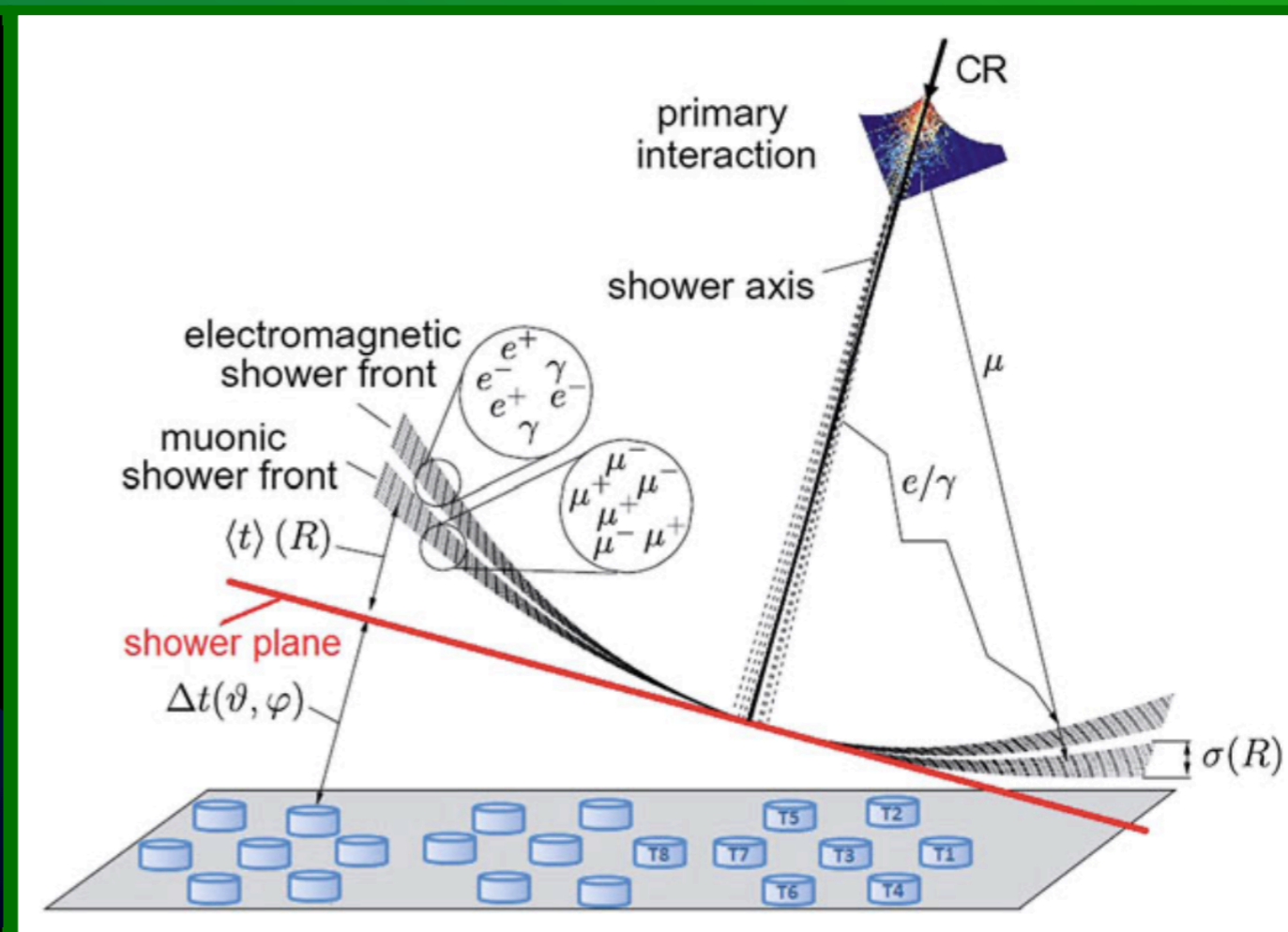
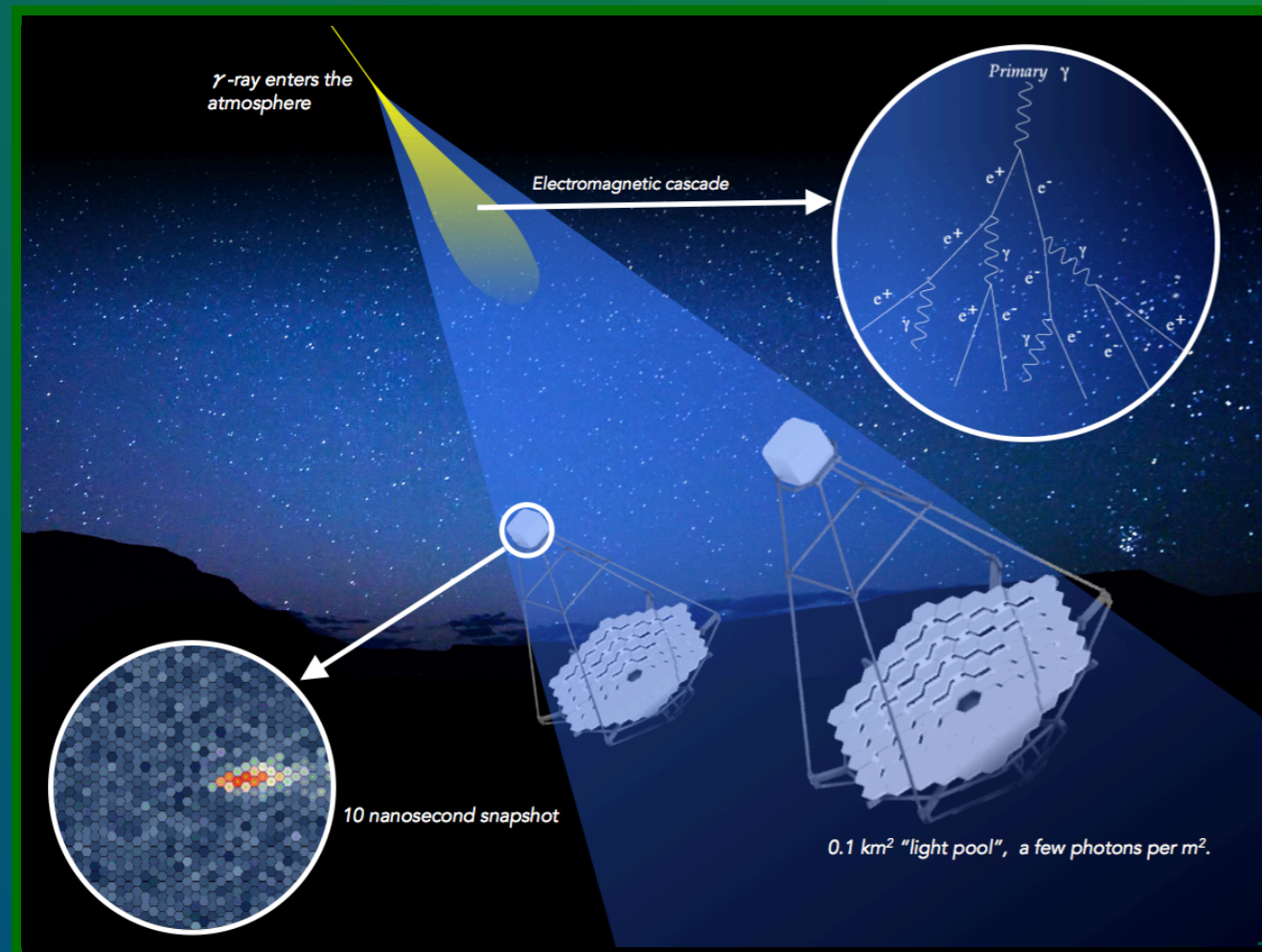


<https://www.mpi-hd.mpg.de/hfm/CosmicRay/ShowerDetection.html>

TÉCNICAS DE OBSERVACIÓN

Telescopios de Imagen del Cherenkov Atmosférico (IACT por sus siglas en inglés)

Detector de Arreglo Superficial (WFD por sus siglas en inglés)

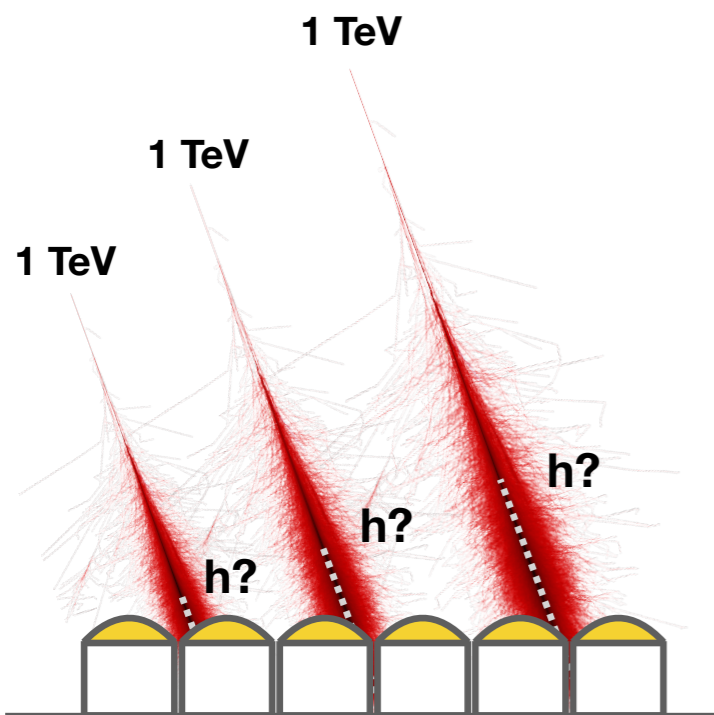


<https://www.cta-observatory.org/astri-detects-crab-at-tev-energies/>

Spurio, M. (2014). Particles and astrophysics. Berlin: Springer.

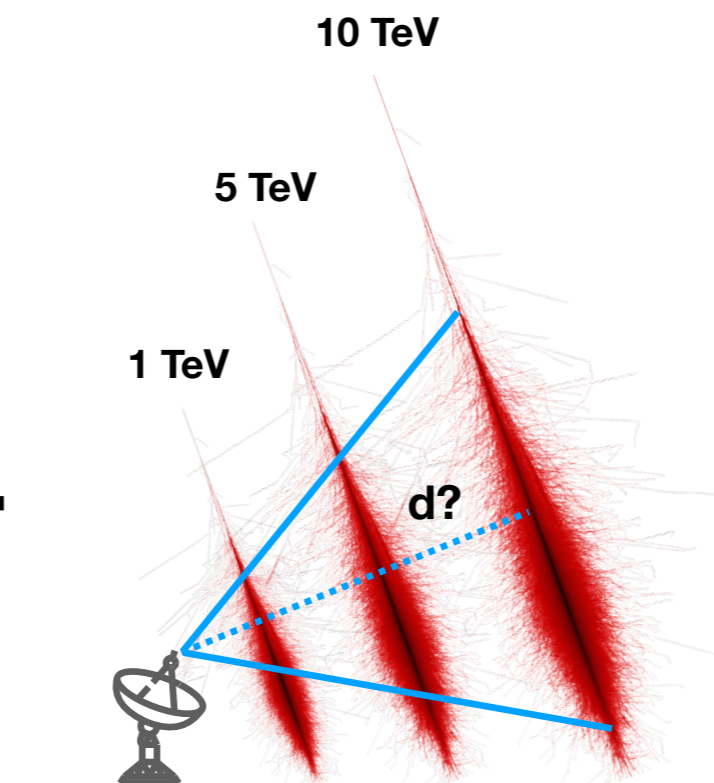
MOTIVACIÓN

DETECTOR DE ARREGLO EXTENDIDO



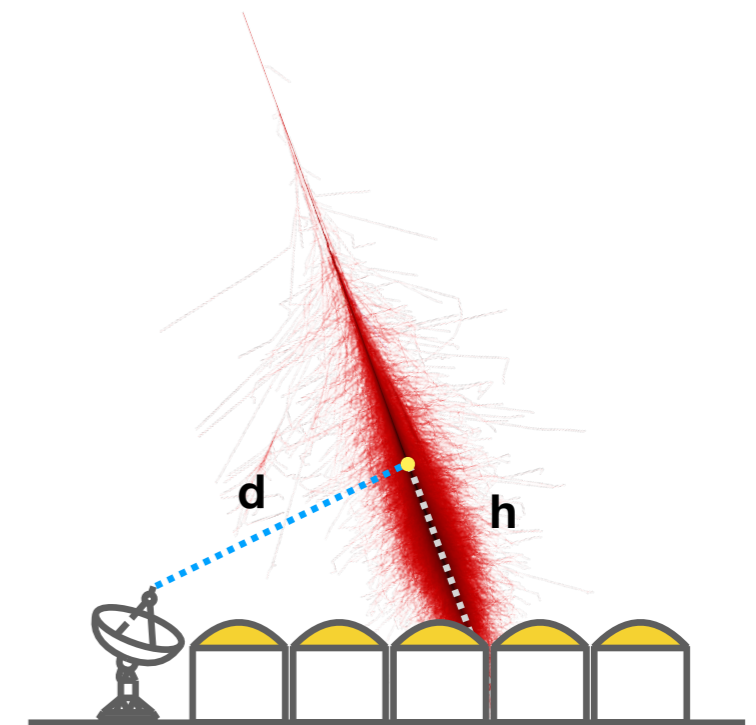
Cascadas idénticas a diferentes alturas (h)
► Señales diferentes

TELESCOPIO DE IMAGEN DE CHERENKOV ATMOSFÉRICO



Diferentes cascadas a diferentes distancias (d)
► Señales similares

DETECTOR HÍBRIDO



Ambigüedades resueltas
► Mejor resolución de energía
► Mejor resolución angular
► Mejor identificación de partículas

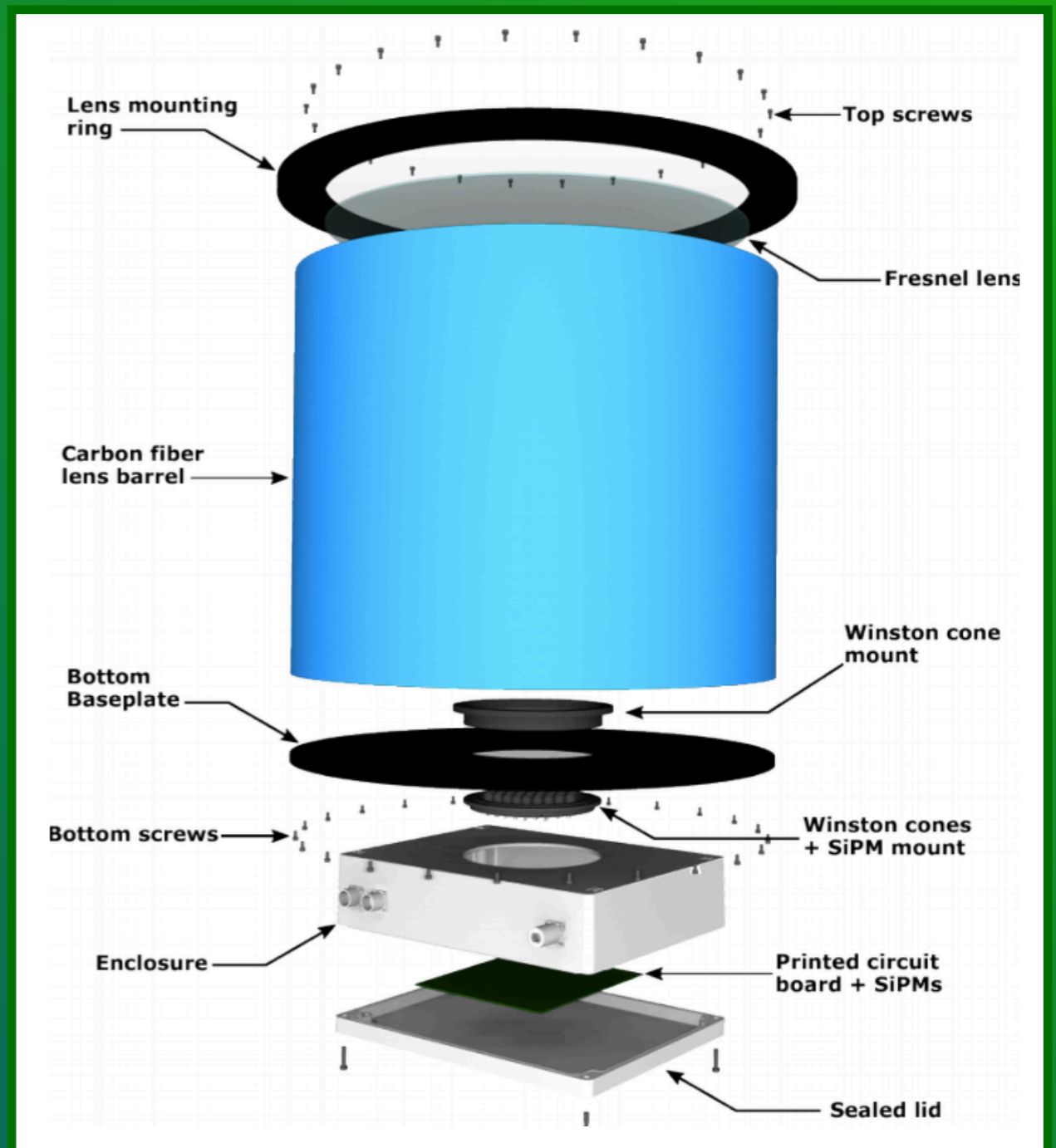
OBSERVATORIO HAWC



- High Altitude Water Cherenkov (HAWC)
- Arreglo extendido
- Detección de radiación Cherenkov en agua
- Ubicado en Puebla, México
- Elevación: 4100m s.n.m
- Formado por 300 WCD y 350 outriggers
- Ciclo de trabajo: $> 95\%$
- FoV instantáneo: 2 sr.
- Rango de energía: 300 GeV a 100 TeV
- Resolución angular: $\geq 0.1^\circ$

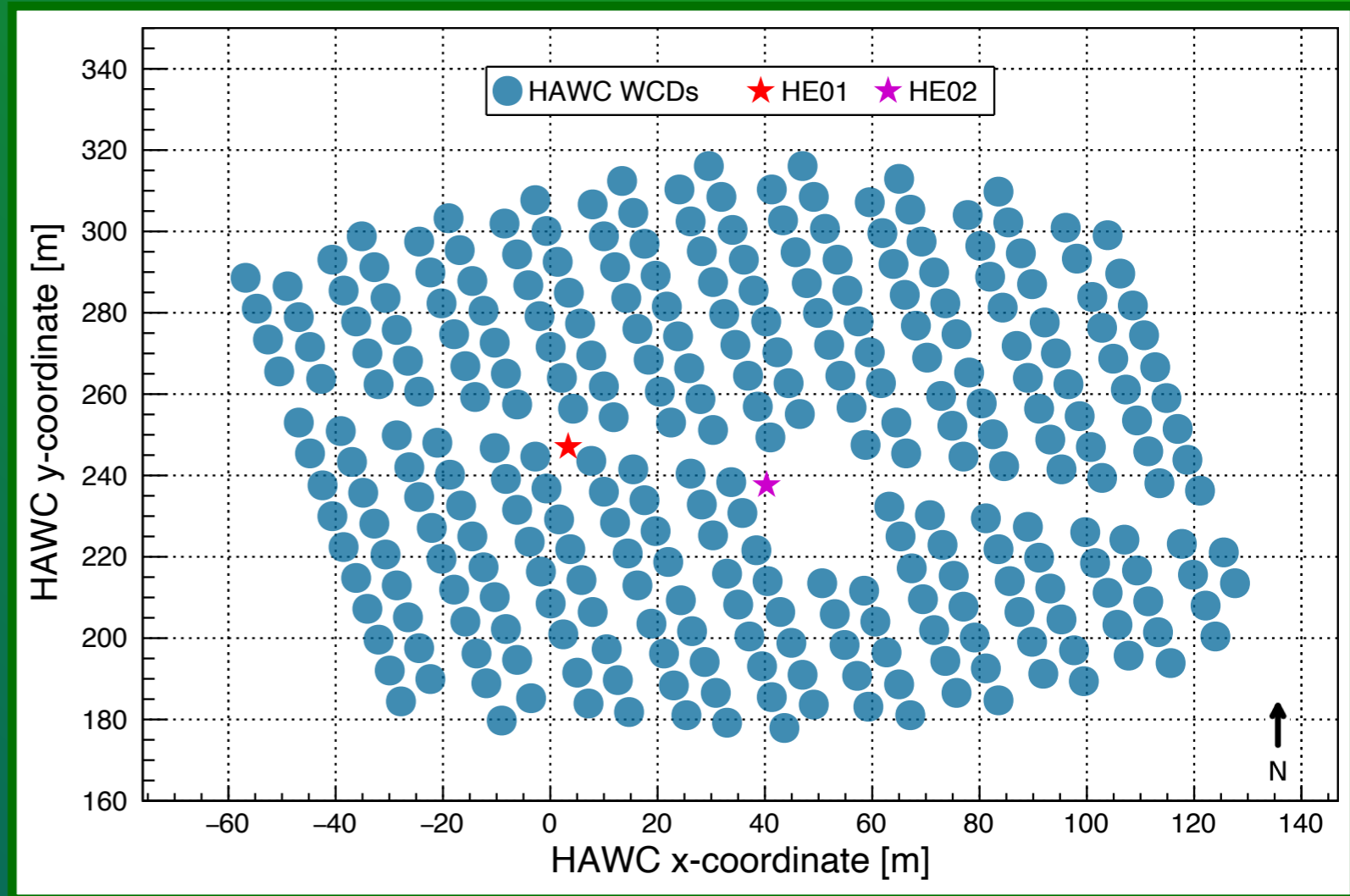
TELESCOPIOS HAWC'S EYE

- Telescopios Atmosféricos de Imagen Cherenkov (IACT por sus siglas en inglés)
- Diseño compacto (Bretz, 2018)
- Lente de Fresnel $f \approx D \approx 0.5$ m
- 61 (+3) fotosensores SiPMs de tipo SenseL MicroFJ
- Guías de luz sólidas hexagonales de tipo cono de Winston
- FoV $\sim 12^\circ$
- Control remoto vía Ethernet
- Bajo costo de producción:
 $\sim 10,000$ eur



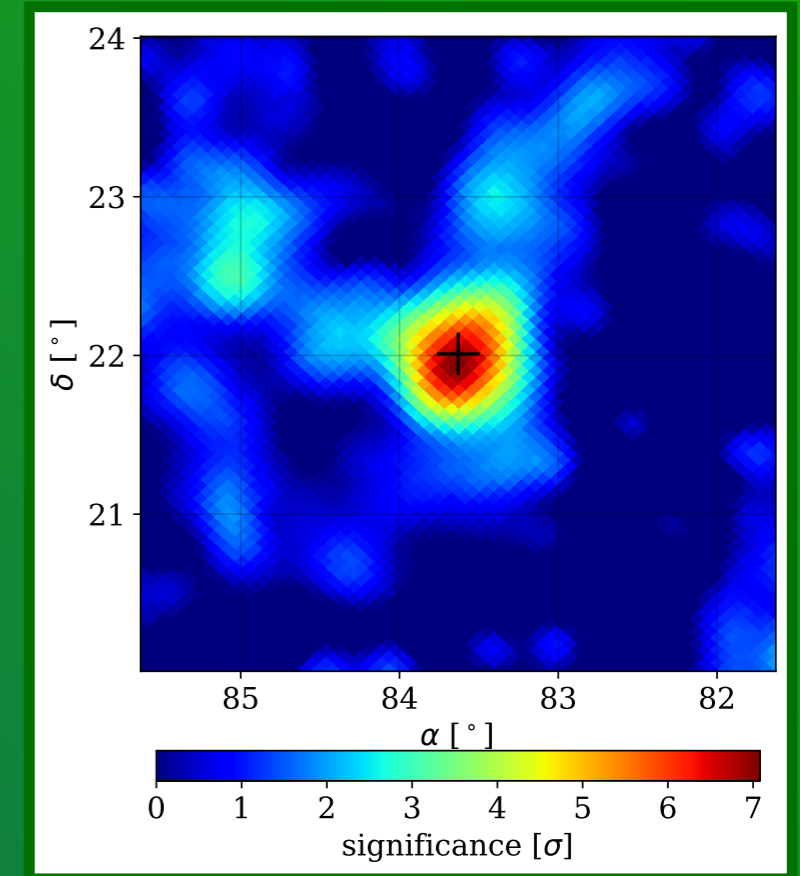
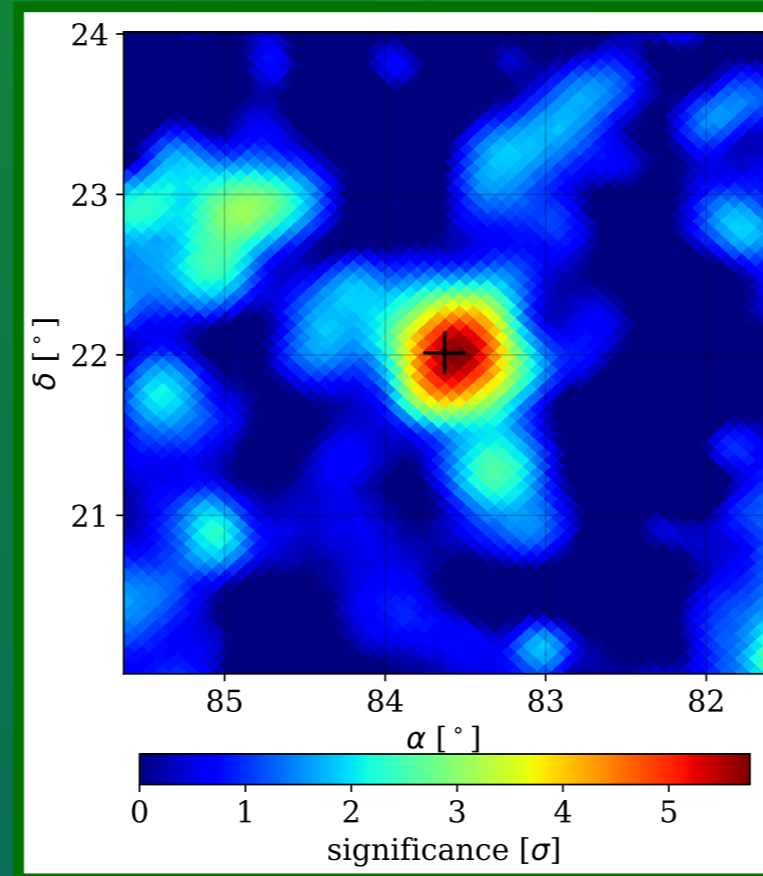
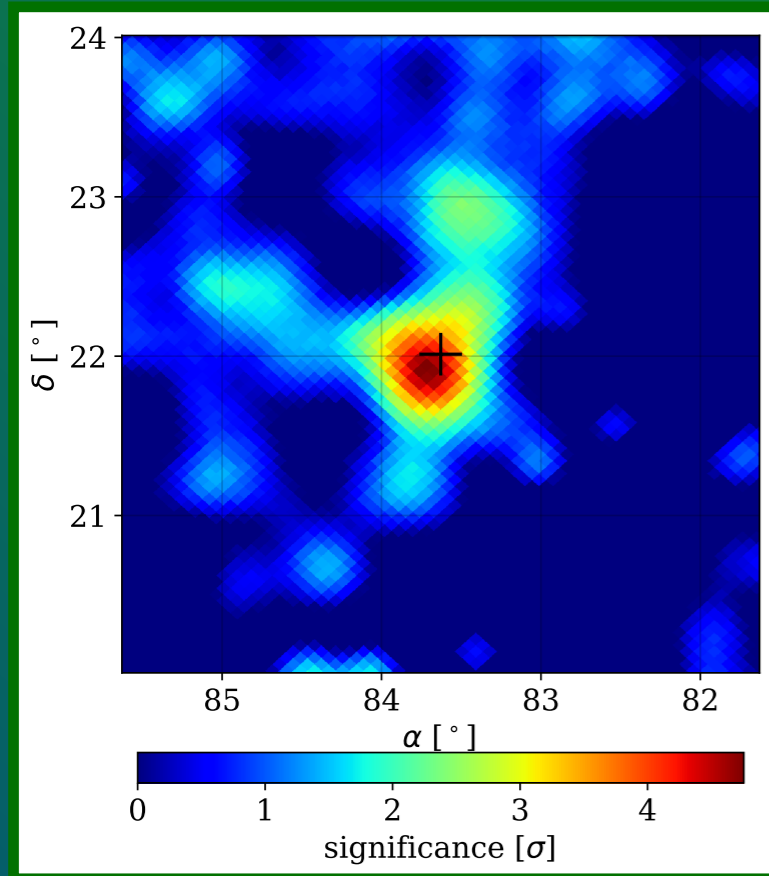
CAMPAÑA DE OBSERVACIÓN

- Campaña de observación en el sitio de HAWC
- Duración: del 11 al 13 de noviembre de 2020 (dos noches)
- Campaña de observación durante el tránsito de la Nebulosa del Congreso sobre HAWC
- Dos telescopios HAWC's Eye de última generación utilizados



DESEMPEÑO DE HAWC

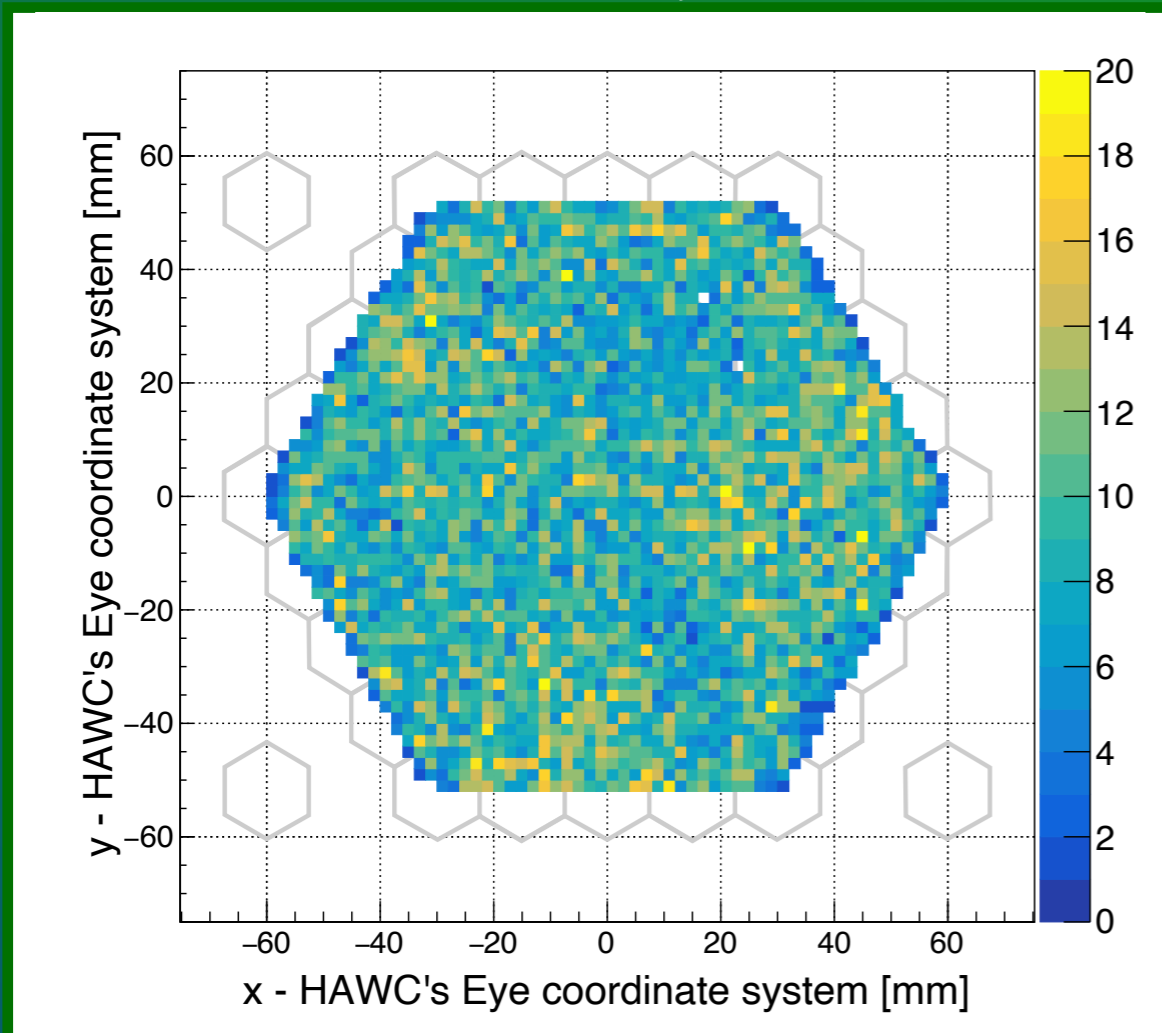
Campaña de observación realizada del 11 al 13 de noviembre de 2020 en el sitio del observatorio HAWC (Puebla, México)



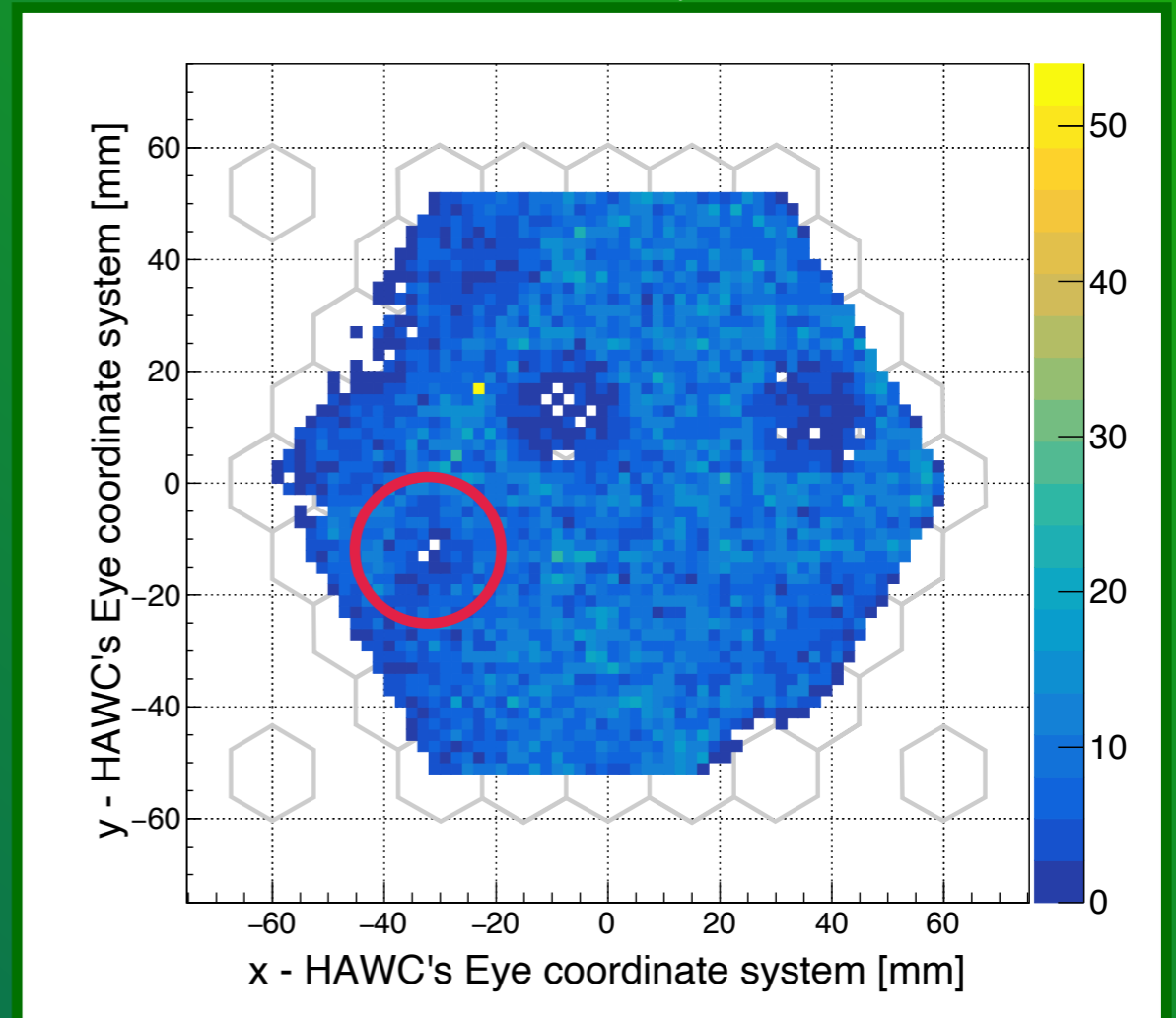
- Mapas de significancia de la Nebulosa del Cangrejo
- La Nebulosa del Cangrejo es la candela estándar en la observación de rayos gamma
- Datos únicamente obtenidos con el observatorio HAWC
- Significancia de cada día $> 4\sigma$
- Significancia de ambos días juntos $> 7\sigma$
- Correcto desempeño de HAWC durante la campaña de observación

DESEMPEÑO DE HAWC'S EYE

HAWC's Eye 01



HAWC's Eye 02

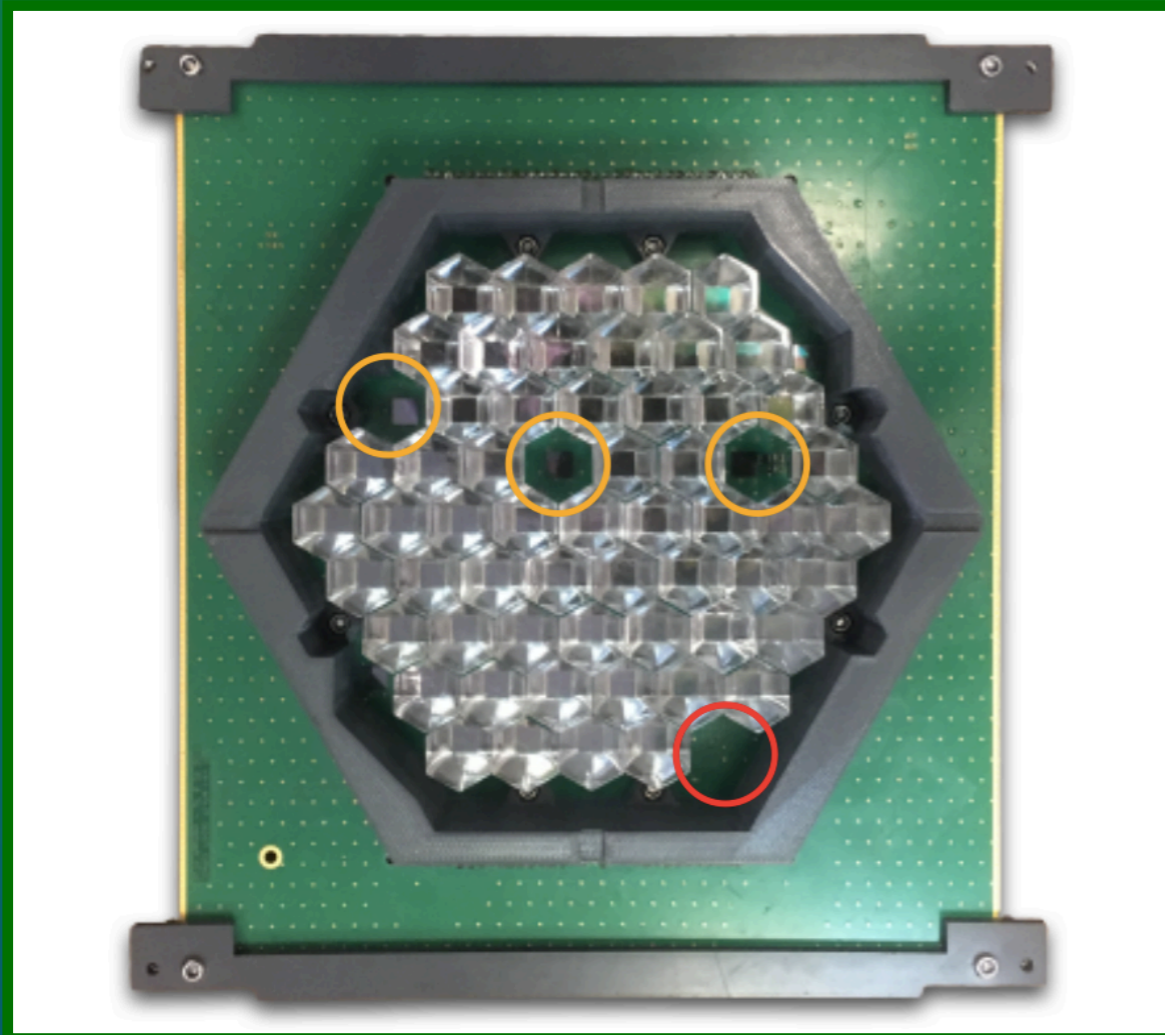


- La cámara de HEO1 funcionó como se esperaba
- La cámara de HEO2 mostró zonas de baja estadística asociados con los pixeles dañados
- Una zona de baja estadística en la cámara de HEO2 logró ubicarse (círculo rojo)

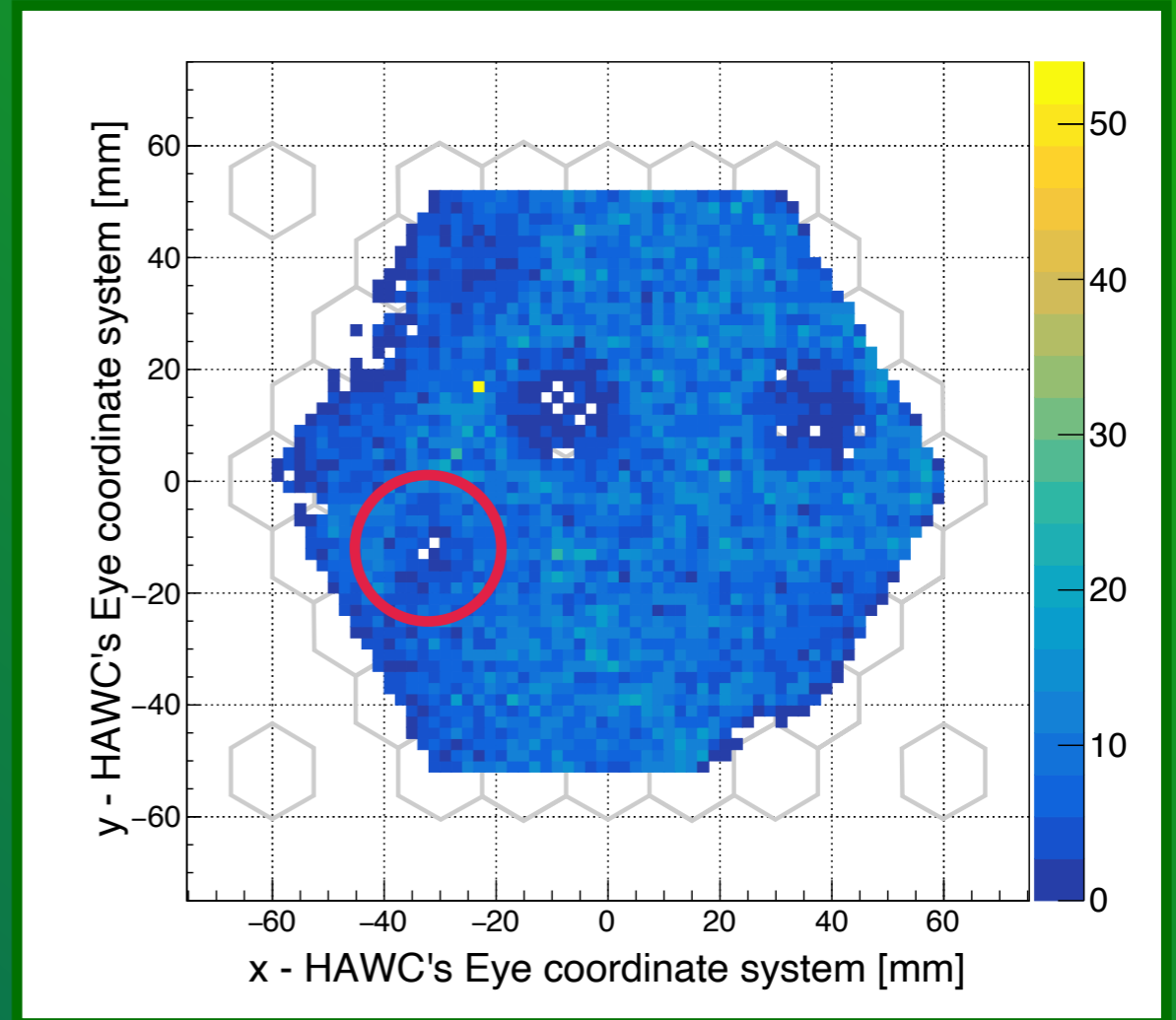
- Las cámaras se comportaron de forma eficiente
- La señal de los pixeles dañados debe de ser interpolada con los alrededores
- El desempeño de ambos HAWC's Eye fue óptimo durante la campaña

DESEMPEÑO DE HAWC'S EYE

HAWC's Eye 01



HAWC's Eye 02



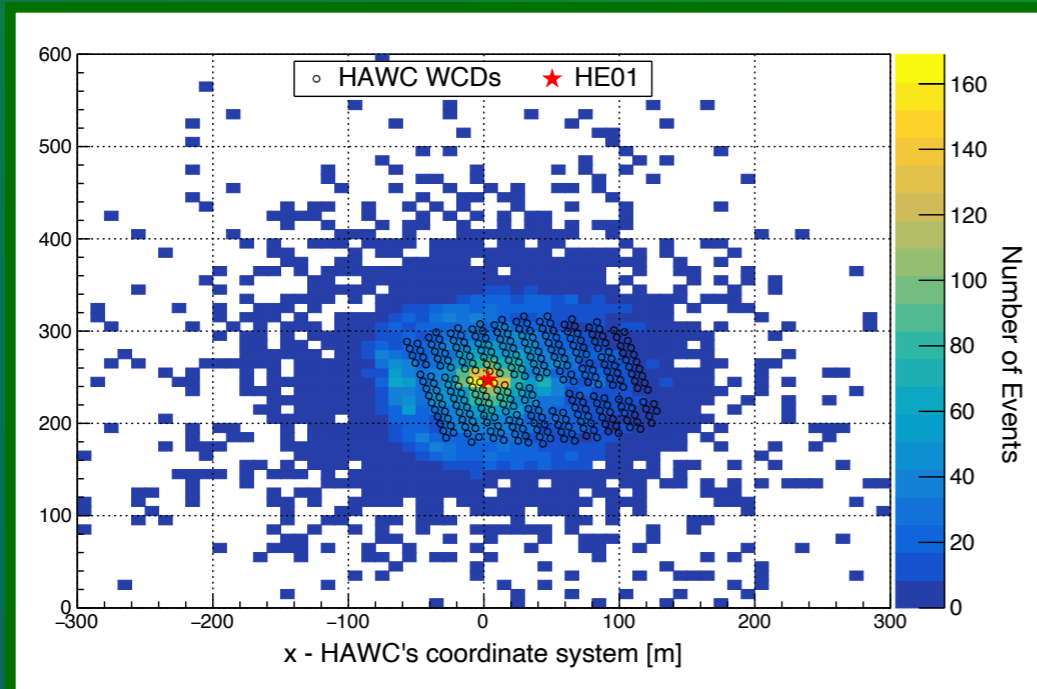
- La cámara de HE01 funcionó como se esperaba
- La cámara de HE02 mostró zonas de baja estadística asociados con los pixeles dañados
- Una zona de baja estadística en la cámara de HE02 logró ubicarse (círculo rojo)

- Las cámaras se comportaron de forma eficiente
- La señal de los pixeles dañados debe de ser interpolada con los aledaños
- El desempeño de ambos HAWC's Eye fue óptimo durante la campaña

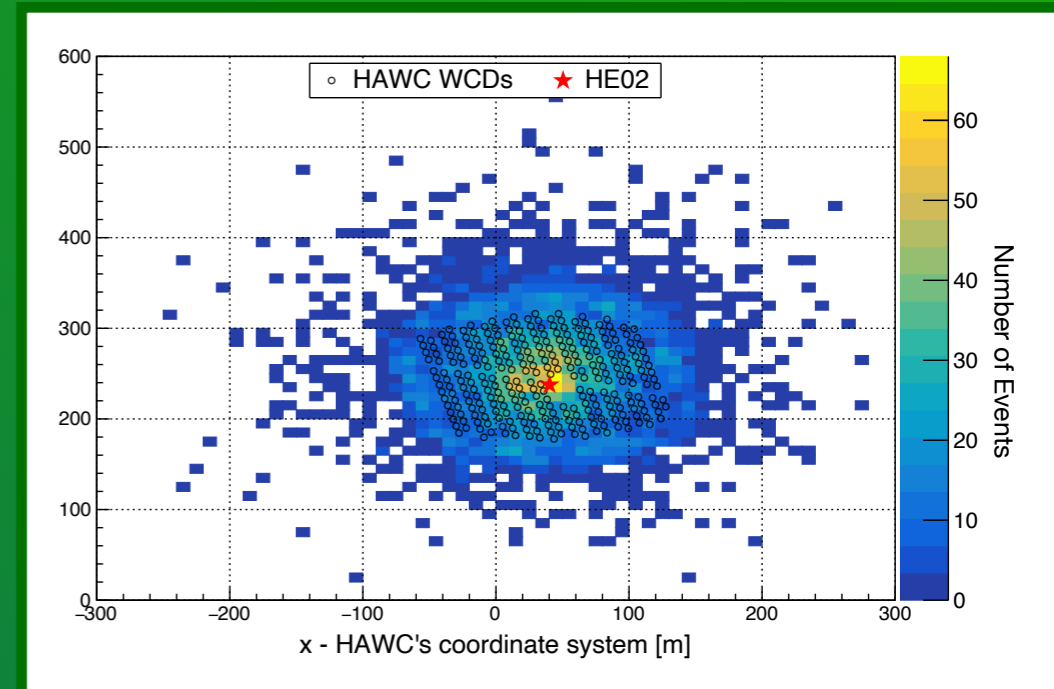
SINCRONIZACIÓN DE EVENTOS

Eventos observados simultáneamente por el observatorio HAWC y los telescopios HAWC's Eye

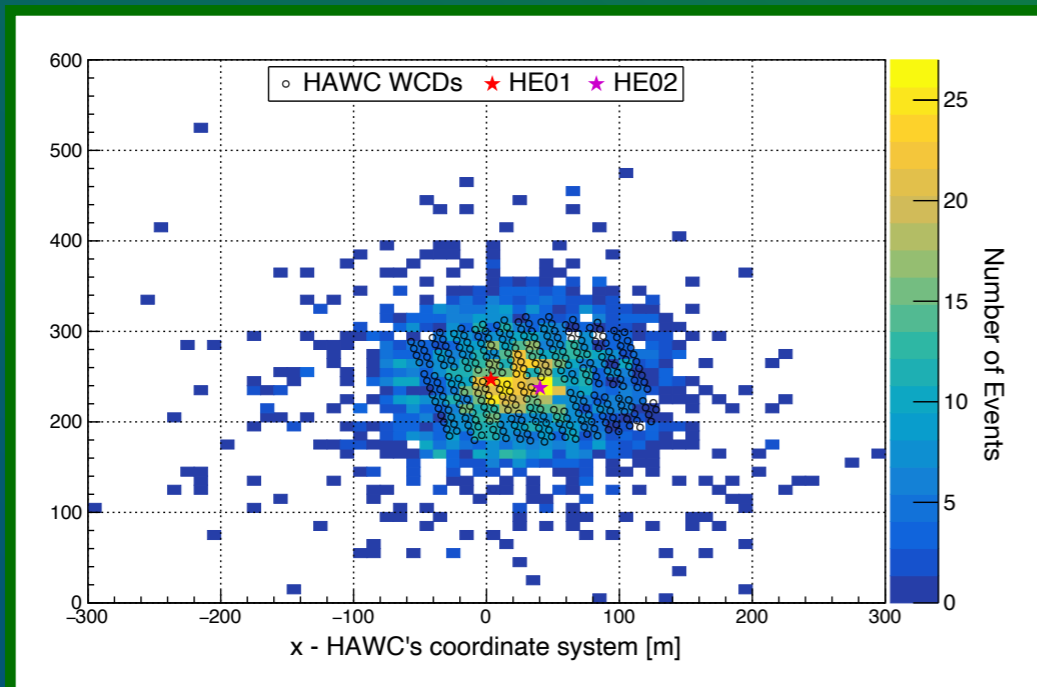
HAWC
+
HE01



HAWC
+
HE02



HAWC
+
HE01
+
HE02



- Distribución de los núcleos de las cascadas atmosféricas observadas
- Eventos observados de forma híbrida (HAWC + 1 telescopio) y de forma híbrida estereoscópica (HAWC + 2 telescopios)
- Información del core estimada con HAWC, complementando la información obtenida con HAWC's Eye
- Observación híbrida y estereoscópica exitosa

CONCLUSIONES

- A pesar de los daños en la cámara de HAWC's Eye 02, ambos telescopios tuvieron un correcto desempeño durante la campaña de observación
- Se identificaron exitosamente eventos híbridos observados con HAWC y con cada uno de los telescopios HAWC's Eye
- Los datos observaciones pueden ser comparados con el desempeño simulado de los telescopios (Serna-Franco, J., 2021)
- Se optimizarán los datos recabados por los telescopios interpolando las señales de los pixeles dañados con las señales de los pixeles vecinos
- En un futuro, se buscará optimizar la sincronización de eventos mediante diferentes técnicas
- Considerando el bajo costo de producción, su fácil movilidad y su tamaño compacto, los telescopios HAWC's Eye se confirman como una opción altamente viable para complementar observatorios de arreglos extendidos para observaciones híbridas, como lo es HAWC o el futuro observatorio Southern Wide-field Gamma-ray Observatory (SWGGO)