



El Observatorio Austral de Rayos Gamma de Gran Campo (SWG0)

A. Pichel¹, I. Allekotte², L.H. Arnaldi², S.M. Campos³, S. Dasso¹, J.I. García³, F. Farfán Carreras⁴, P. Hansen⁵, D. Hoyos³, R. Laspiur³, A. Mariuzzi⁵, D.G. Melo⁶, D. Ravignani⁶, G.E. Romero⁴, A.C. Rovero¹, G.A. Salazar³, V. Serrano³ & I.D. Vergara-Quispe⁵, por la Colaboración SWG0

¹ Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA, Argentina

² Centro Atómico Bariloche, Comisión Nacional de Energía Atómica, Argentina

³ Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Argentina

⁴ Instituto Argentino de Radioastronomía, CONICET-CICPBA-UNLP, Argentina

⁵ Instituto de Física de La Plata, CONICET-UNLP, Argentina

⁶ Instituto de Tecnologías en Detección y Astropartículas, CNEA-CONICET-UNSAM, Argentina

Contacto / anapichel@iafe.uba.ar

Resumen / Presentamos el proyecto del próximo observatorio de rayos gamma energéticos de gran campo visual en el hemisferio sur, SWG0 (Southern Wide-field Gamma-ray Observatory). Este observatorio consistirá en un arreglo de miles de detectores de partículas ubicados a una altitud aproximada de 4800 m sobre el nivel del mar. Está diseñado para medir indirectamente rayos gamma y rayos cósmicos desde 100 GeV a cientos de TeV. SWG0 complementará a los detectores terrestres actuales como HAWC y LHASSO, ubicados en el hemisferio norte. Tendrá una mayor área de colección de partículas y estará en una ubicación que permitirá una mejor visión de nuestra galaxia. Dentro de sus objetivos científicos se encuentra el aportar información que ayude a comprender los procesos de aceleración de partículas relativistas en fuentes galácticas y extragalácticas, monitorear los fenómenos transitorios por arriba de los 100 GeV, estudiar la variabilidad a distintas escalas temporales, y caracterizar el flujo de rayos cósmicos en su rango de energías, entre muchos otros.

Abstract / We present the project for the next wide field energetic gamma ray observatory in the southern hemisphere, SWG0 (Southern Wide-field Gamma-ray Observatory). This observatory will consist of an array of thousands of particle detectors located at an approximate altitude of 4800 m above sea level. It is designed to indirectly measure gamma rays and cosmic rays from 100 GeV to hundreds of TeV. SWG0 will complement current ground-based detectors such as HAWC and LHASSO, located in the northern hemisphere. It will have a larger particle collection area and be in a location that will allow a better view of our galaxy. Among its scientific objectives is to provide information that helps understand the acceleration processes of relativistic particles in galactic and extragalactic sources, monitor transient phenomena above 100 GeV, study the variability at different time scales, and characterize the flow of cosmic rays in its range of energies, among many others.

Keywords / radiation mechanisms: non-thermal — instrumentation: detectors — site testing

1. Astronomía de rayos gamma

Durante las últimas décadas, el desarrollo de la astrofísica de altas energías, tanto a nivel teórico como observacional, ha permitido tener una nueva visión del Universo en la región gamma del espectro electromagnético. Con el lanzamiento del telescopio espacial *Fermi*-LAT y los observatorios de telescopios Cherenkov en tierra como VERITAS, HESS y MAGIC, se ha alcanzado un nivel de calidad y detalle en las observaciones sin precedentes en el área.

La detección directa de rayos gamma es sólo posible con satélites, como *Fermi*-LAT, pero las restricciones de costo y tamaño limitan su área de recolección y sensibilidad, funcionando en el rango de 50 MeV a 50 GeV. A medida que se aumenta en energía, típicamente por encima de 100 GeV, los flujos disminuyen siguiendo una ley de potencia y los satélites ya no son una opción para las observaciones astronómicas. En este caso, hay que recurrir a detecciones indirectas, a través de las lluvias

de partículas creadas como resultado de la interacción de los rayos gamma con la atmósfera. Las lluvias atmosféricas se pueden estudiar con observatorios de dos tipos complementarios: con Telescopios Cherenkov atmosféricos (IACT) y con arreglos extensos de detectores (EAS) (ver Fig. 1). Los Telescopios Cherenkov como actualmente utilizan VERITAS y Magic en el hemisferio norte y H.E.S.S en el hemisferio sur, son instrumentos muy sensibles que siguen a un objeto puntual durante el tiempo de la observación, pero con un ciclo de trabajo limitado y un estrecho campo de visión. Los observatorios de campo amplio, con arreglos extensos de detectores, como HAWC y LHASSO en el hemisferio norte, son ideales para estudiar la emisión de regiones muy extensas del cielo y para buscar eventos transitorios, sirviendo como complemento a los IACT proporcionando alertas para el seguimiento posterior. Además tienen la ventaja de operar en un rango de energía más alto de rayos gamma (100 GeV – 100 TeV).

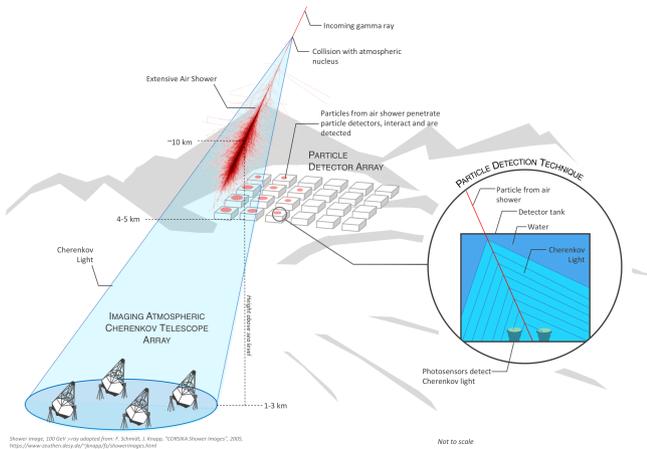


Figura 1: Ilustración de las técnicas de detección de rayos gamma de muy alta energía. A nivel del mar con telescopios Cherenkov (IACs) y a alturas mayores a 4000 metros con arreglos extensos de detectores de partículas. Créditos: Richard White, MPIK y la colaboración SWGO.

2. SWGO: Observatorio austral de rayos gamma de gran campo

SWG0 es el observatorio de rayos gamma de próxima generación que estudiará por primera vez el hemisferio sur hasta cientos de TeV (Huentemeyer et al., 2019). Es una colaboración internacional que empieza formalmente en julio de 2019. Actualmente esta conformado por 12 países, con 61 institutos de todo el mundo y más de 170 miembros plenos y 30 personas como miembros asociados (Hinton, 2021). En Argentina hay 5 instituciones que forman parte de SWGO y alrededor de 20 personas trabajando dentro de la colaboración. SWGO se encuentra actualmente en una fase de investigación y desarrollo. Las actividades clave son establecer un diseño de referencia para los detectores e identificar un sitio para emplazar el observatorio. Se espera para finales de 2023 tener definido el sitio y el formato del detector.

SWG0 presenta una gran oportunidad para la astrofísica de alta energía y la física más allá del modelo estándar (Albert & Southern Wide-field Gamma-ray Observatory Collaboration, 2021). SWGO permitirá mapear la emisión galáctica a gran escala, proporcionará acceso al centro galáctico para poder resolver con mayor exactitud las fuentes galácticas y definir cuan extensas son (López-Coto et al., 2021), para detectar eventos transitorios como *gamma-ray bursts* (GRBs) (La Mura et al., 2021) o alta actividad de galaxias de núcleos activos (AGNs) y para estudiar las contrapartes de rayos gamma de fenómenos variables detectados en otras bandas de energía. Además va a ayudar a encontrar las fuentes de rayos cósmicos, enfocándose en la parte del espectro de la rodilla (3 PeV) (Taylor et al., 2021). Con su amplio campo de visión y su profunda sensibilidad, incluso a las energías más altas, SWGO permitirá observaciones simultáneas de un gran número de fuentes estacionarias y transitorias, incluidas fuentes difusas y estructuras a gran escala, revelando sus detalles y morfologías.

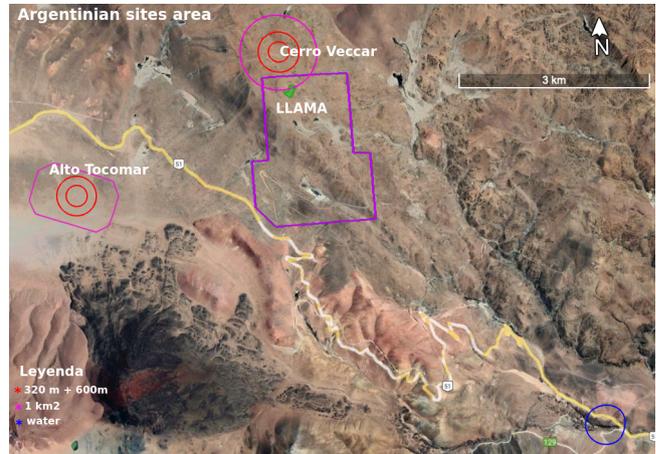


Figura 2: Mapa de los dos sitios argentinos en Salta. Cerro Veccar ubicado a una altitud de 4800m y Alto Tocomar a una altitud de 4450 m. Los círculos rojos son donde irían los detectores de partículas. El círculo violeta es por si se decide que hay que agrandar el diseño a 1 km². También están marcados los lugares donde van a estar LLAMA y QUBIC.

2.1. Opciones de Sitios y detectores

Para lograr los objetivos científicos presentados, y además tener una muy buena resolución angular, resolución espacial y alcanzar un mayor rango de energías con energías más altas, la ubicación del observatorio debe tener bastantes restricciones (Hinton & Hofmann, 2009). SWGO tiene que estar ubicado a una latitud entre 10 y 30 grados sur, tener una altitud superior a 4400 m, un promedio anual temperatura por encima del punto de congelamiento y acceso a fuentes de agua. Además para abaratar costos, se requiere que haya infraestructura en el sitios y en las cercanías, incluyendo caminos, energía eléctrica, fibra óptica, etc. Varios sitios potencialmente adecuados entre 4800 y 5000 m de altitud han sido identificados. En Argentina hay dos sitios propuestos ambos en Salta. Cerro Vecar, ubicado a una altitud de 4800 m, donde QUBIC y LLAMA se están construyendo, y Alto Tocomar, ubicado a una altitud de 4450 m, separado unos kilómetros de Cerro Vecar (ver Fig. 2). En Chile hay 2 sitios propuestos, Pampa la Bola y Pajonal, cerca de donde está ALMA. En Bolivia se propone el sitio ALPACA y en Perú hay 4 sitios, dos en Imata, uno en Sumbay y otro en la Laguna Sibinacocha que es un gran lago natural.

El diseño del *array* consta de una parte central de un círculo de 320 m de diámetro con unos 5700 detectores cubriendo un área de 80000 m², cubriendo un área 4 veces más grande de lo que es HAWC actualmente. Además va a haber un arreglo exterior de 900 tanques mucho más separados entre sí, cubriendo un área de 221000 m² (ver Fig. 3).

Las principales opciones para las unidades detectoras Cherenkov de agua de SWGO son:

Tanques: unidades detectoras individuales mecánicamente separadas y desplegadas individualmente, con revestimientos herméticos a la luz dentro de tanques de plástico rotomoldeado (como en Auger) o de acero (como en HAWC).

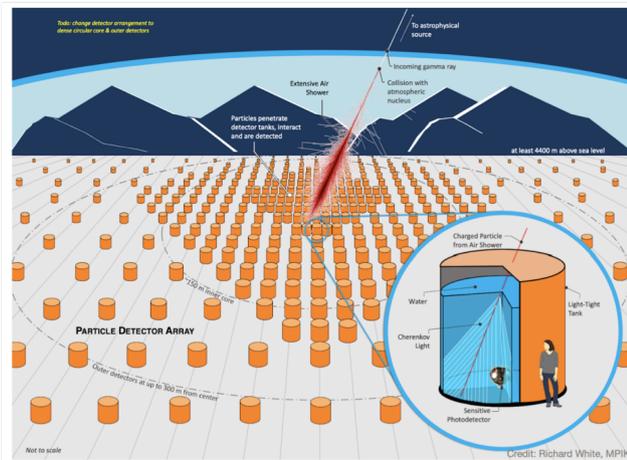


Figura 3: Ilustración de la distribución de las unidades detectoras. En el círculo interior hay mayor densidad de unidades, mientras que en círculo exterior se hace más espaciada la distancia entre tanques. Créditos: Richard White, MPIK y la colaboración SWGO.

Estanques: cuatro o más volúmenes de agua artificial con muros de contención y separación óptica entre unidades (como en LHAASO).

Lago: despliegue de unidades detectoras llenas de agua pura directamente en un lago. Todas estas opciones de unidades físicas, así como las opciones de fotosensor y electrónica, están siendo evaluadas.

3. Colaboración Argentina de SWGO

La colaboración argentina de SWGO está formada por 5 instituciones: el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), el Instituto de Física de La Plata (IFLP), el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), el Centro Atómico Bariloche (CAB-CNEA) y la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Salta. Actualmente hay 17 personas que son miembros plenos de la colaboración y 4 miembros asociados.

Estamos trabajando en distintas áreas dentro de la colaboración. Hemos armado y estamos probando en el predio de la UNSa un prototipo de detector de partículas (WCD) para colocarlo en el sitio argentino Cerro Vecar. En el proceso de construcción hemos probado 2 proveedores de tanques plásticos y seleccionado uno de ellos para la compra del tanque a escala normal, esto

es un tanque de 25 m³. Hemos construido la electrónica de adquisición y adaptado las conexiones para un fotomultiplicador proveniente del proyecto ANTARES, un módulo óptico (ANTARES Collaboration et al., 2002). Hemos construido una línea de 11 sensores de temperatura para poner dentro del prototipo que nos permite medir temperatura del agua en distintos puntos del detector. Hemos construido dos sistemas fotovoltaicos, para el prototipo y para la central meteorológica. El prototipo y la electrónica están terminados y tomando datos en Salta capital. Queda su traslado al Cerro Vecar para el 2022, lo que nos permitirá realizar mediciones básicas, como el conteo de eventos de fondo y las condiciones de congelamiento del agua. Hemos importado, probado e instalado en el sitio de LLAMA un conjunto de sensores que incluye una central meteorológica y equipamiento para medir variables terrestres. El conjunto, denominado Aerosite, se encuentra funcionando en la explanada del proyecto LLAMA, en coordinación con este proyecto para compartir datos. Este aparato fue diseñado por la colaboración SWGO para colocarse en los 4 países interesados, y servirá para comparar los sitios con el mismo instrumental. Estamos trabajando en simulaciones del balance térmico y simulaciones de un prototipo de detector, para luego contribuir al diseño del arreglo de detectores. Las operaciones del instrumental se darán enmarcadas en “Salta Ventana al Universo”, una iniciativa del MinCyT para la creación de un parque astronómico en la puna salteña.

Agradecimientos: Este trabajo fue realizado parcialmente con el aporte de subsidios otorgados por el CONICET, PICT Agencia, UNSa, Mincyt.

Referencias

- Albert A., Southern Wide-field Gamma-ray Observatory Collaboration, 2021, *APS April Meeting Abstracts, APS Meeting Abstracts*, vol. 2021, H10.003
- ANTARES Collaboration, et al., 2002, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*, 484, 369
- Hinton J., 2021, arXiv e-prints, arXiv:2111.13158
- Hinton J.A., Hofmann W., 2009, *ARA&A*, 47, 523
- Huentemeyer P., et al., 2019, *Bulletin of the American Astronomical Society*, vol. 51, 109
- La Mura G., et al., 2021, *Galaxies*, 9, 98
- López-Coto R., et al., 2021, arXiv e-prints, arXiv:2109.03521
- Taylor A.M., et al., 2021, arXiv e-prints, arXiv:2108.04609