

## **Historia de la Astronomía de altas energías en Argentina**

Adrián C. Rovero<sup>1</sup>

*(1) Instituto de Astronomía y Física del Espacio, CONICET-UBA*

**Resumen.** La astronomía de altas energías se desarrolló en el último medio siglo juntamente con los avances tecnológicos que permitieron la detección de radiación X, gamma y de partículas proveniente del espacio. En Argentina hubo desarrollos en este campo que contribuyeron al avance del área a nivel mundial. En este documento se aborda el tema haciendo una descripción seguramente incompleta de los acontecimientos, con la esperanza de contribuir a motivar a investigadores e historiadores de la ciencia a completar estas páginas.

### **1. Introducción**

La astronomía de altas energías es una rama relativamente joven de la Astronomía que estudia las manifestaciones más energéticas de la radiación proveniente del espacio. Esta radiación comprende la banda electromagnética desde rayos X hasta rayos gamma y las partículas aceleradas a velocidades relativistas, conocidas como “rayos cósmicos”. La atmósfera terrestre es totalmente opaca a este tipo de rayos, impidiendo que se puedan realizar observaciones directas con detectores ubicados en la superficie de la tierra. Las fuentes astronómicas emiten bajas cantidades de rayos de altas energías, en comparación con otras bandas del espectro. Tanto es así, que en muchos casos se menciona la detección de “eventos”, o rayos detectados en forma individual. Estos hechos hicieron que el desarrollo de la astronomía de altas energías, de medio siglo de existencia, se viera retrasado a la espera de que los avances tecnológicos permitieran la detección de los efectos causados en la atmósfera por este tipo de radiación. También fue importante contar con elementos adecuados para mediciones a gran altura, como globos estratosféricos, cohetes y, finalmente, satélites. Por ello, la historia de la astronomía de altas energías estuvo ligada a la historia del desarrollo tecnológico de los medios que permitieron la detección de partículas y radiación provenientes del espacio.

Los desarrollos tecnológicos necesarios para la investigación en temas de altas energías han condicionado los estudios de objetos astronómicos, precisamente por la necesidad de incorporar en los mismos una gran componente de conocimiento instrumental. Más que estudiar un tipo de objeto astronómico utilizando todas las observaciones disponibles, con frecuencia los investigadores en esta área de la astronomía han limitado sus estudios a la banda del espectro alcanzada por el instrumento que desarrollaban. Es de esperar que en el futuro, y a medida que la operación de los medios de detección se vuelvan más rutinarios, las observaciones de altas energías se incorporarán naturalmente al estudio de objetos astronómicos de la misma forma que lo realizado con otras bandas del espectro.

El término “altas energías”, por otro lado, es un término relativo. Considerar a los rayos X con energías del orden de las decenas de keV ( $10^3$  eV)<sup>1</sup> como de altas energías, resulta una clasificación no muy acorde con los rayos gamma que se detectan al presente, con energías de TeV ( $10^{12}$  eV), o con rayos cósmicos con energías ocho órdenes de magnitud aun mayores. Sin embargo, la tecnología necesaria para su aplicación en astronomía de rayos X fue de las primeras en desarrollarse mediante instrumentos en satélites en órbita terrestre, que luego se extendió a la astronomía gamma, en rangos bajos de energía. Los estudios de rayos X y gamma están relacionados también con el de las partículas aceleradas, por medio de los mecanismos de interacción entre radiación y materia, tanto en las fuentes astronómicas como en los instrumentos que los detectan. Así, el desarrollo de los detectores de partículas y de la radiación altamente energética corrieron muchas veces en paralelo.

La historia que se relata en este capítulo tiene una característica distintiva en el presente libro, ya que no se refiere a la de una sola institución. Esta historia involucra a muchos grupos de variada especialidad y origen, a veces en una cadena de instituciones que fueron heredando experiencias e investigadores, de tal forma que debería separarse en al menos tres partes, cuyas génesis son independientes.

La primera de ellas es la que se inició a finales de la década de 1940, con las investigaciones de reacciones nucleares utilizando rayos cósmicos, y que en última instancia diera lugar a la fundación del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE). Esa primera parte de la historia de la astronomía argentina se hubiera podido perder de no ser por lo relatado por Juan G. Roederer (2002) sobre su propia experiencia de aquellos años. Esos escritos fueron la respuesta del reconocido investigador a la inquietud de algunos científicos que entienden el valor de la divulgación y preservación de la historia de la ciencia, que merecen resaltarse. La segunda historia independiente es sobre astronomía gamma, sobre la formación de grupos teóricos y experimentales y, en particular, sobre el intento por instalar telescopios Cherenkov en el Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO). La última parte independiente de esta historia es la del comienzo de la astronomía de partículas que nació con el éxito del Observatorio Pierre Auger construido en nuestro país. No le correspondería a este autor escribir esta última parte, sino a los impulsores de esa obra, a quienes convendría convocar nuevamente dentro de algunos años para que los detalles de esa página de historia de la ciencia argentina no se pierdan.

En lo que sigue, se presenta un intento por relatar parte de la historia de la astronomía de altas energías en Argentina. Las secciones 2 a 5 corresponden a la historia iniciada con la exposición de placas con emulsiones nucleares, que finaliza en la fundación del IAFE. En las secciones 6 y 7 se describe el intento por instalar telescopios Cherenkov en el CASLEO para astronomía gamma del TeV y el surgimiento del grupo teórico dedicado a la astronomía gamma. Finalmente la sección 8 se dedica a la última de las historias independientes de este trabajo, al Observatorio Pierre Auger, sobre el cual se hace una descripción muy sintética de su génesis en el país y de algunos ejemplos de emprendimientos paralelos como

---

<sup>1</sup>eV = electronvoltio, unidad de energía equivalente a  $1.6 \times 10^{-19}$  joules

muestra de todo lo realizado en los primeros tiempos, dejando a los iniciadores del proyecto en Argentina una descripción detallada de todo lo acontecido.

## 2. Rayos cósmicos y emulsiones nucleares: 1947-1955

Desde su descubrimiento en 1912 por Victor F. Hess, los rayos cósmicos fueron estudiados y utilizados como fuente natural de partículas de altas energías, mayores que las obtenidas en los aceleradores de la época. La técnica utilizada con cámaras de niebla para observar las trayectorias de los rayos cósmicos permitió a Carl D. Anderson descubrir el positrón en 1932, trabajo que le valió el Premio Nobel de Física en 1936, compartido con Hess. Hacia 1935 Hideki Yukawa había postulado la existencia de una partícula de intercambio para la fuerza nuclear fuerte, similar al fotón para la fuerza electromagnética, pero en este caso de masa intermedia (mesón) entre la del protón y el electrón. Cuando en 1937 Anderson descubre el muón, utilizando nuevamente la cámara de niebla en el estudio de los rayos cósmicos, se pensó inicialmente que se trataba de la partícula de Yukawa, hipótesis que se descartó por ser los muones demasiado penetrantes. Sin embargo, la existencia de una partícula de masa intermedia como el muón incentivó la búsqueda de la partícula de Yukawa, hoy conocida como pión. El descubrimiento de esta partícula fue hecho en 1947 por el brasileño César Lattes, también estudiando rayos cósmicos pero esta vez no con cámaras de niebla, sino mediante una técnica más refinada con un medio más absorbente, las placas fotográficas con emulsiones nucleares que Lattes expuso en las alturas de Chacaltaya, Bolivia. Este descubrimiento le valió a Yukawa el Premio Nobel de Física 1949, y a Cecil Powell, director del grupo de Lattes, el de 1950 por el método fotográfico que venía desarrollando desde hacía años en Gran Bretaña.

Es fácil imaginar que los hechos que llevaron al descubrimiento del pión hicieran popular la exposición de placas con emulsiones nucleares, una forma relativamente sencilla de hacer física de alto nivel hacia mediados del siglo XX. Probablemente antes de esa época haya habido actividad referente a rayos cósmicos en nuestro país. Hay información que indica que Pierre Auger habría venido a la Argentina en 1933 trayendo cien contadores de partículas (presumiblemente contadores Geiger-Müller). Este suceso es mencionado en el obituario de Louis Leprince-Ringuet (Maurice, 2003), quien trabajara con Pierre Auger en aquella época. También, existe copia de una carta de Cecilia Mossin Kotin solicitándole a Enrique Gaviola una referencia para obtener una beca en Francia, fechada en 1938, para trabajar con Pierre Auger en rayos cósmicos (Allekotte, 2009), pero aparentemente la beca no fue realizada en este tema. Hacia fines de la década de 1940, en cambio, hubo en nuestro país algunas iniciativas documentadas, y de distinta trascendencia, que se intentarían describir a continuación con la intención de respetar la cronología y autoría de los hechos.

Las placas nucleares son placas fotográficas con emulsiones especiales que al ser reveladas muestran, en forma de hilera de granos de plata, las trazas de las partículas cargadas eléctricamente que las atravesaron durante la exposición. La técnica de observación consiste en apilar varias placas con emulsión y exponerlas en forma tangencial al flujo de rayos cósmicos, protegidas de la luz solar, por un tiempo prolongado, desde días hasta semanas. Una vez reveladas las placas, se deben observar con microscopios lo suficientemente potentes como para detectar

los granos de plata de menos de un micrón de espesor que forman la imagen de la trayectoria de una partícula cargada, y poder identificar así las “estrellas”, o centros de las reacciones nucleares producidas en las placas durante la exposición. Del análisis de la forma de cada traza en la placa se puede deducir el tipo de partícula que la produjo.

Son conocidas en nuestra comunidad las reuniones informales organizadas por Enrique Gaviola en El Hotel El Cóndor, en Pampa de Achala, Córdoba, en la década de 1940, mientras dirigía el Observatorio Astronómico Nacional, en Córdoba. Bernaola (2001) brinda en su libro detalles muy interesantes sobre esas reuniones en donde se trataban temas de física teórica, mencionando algunas anécdotas y nombres de sus concurrentes. En particular, se extrae que estas reuniones comenzaron con la llegada de Guido Beck al país en mayo de 1943, o unos meses después, en el segundo semestre de 1943. Estas reuniones se prolongaron al menos hasta avanzado 1949, a juzgar por los comentarios escritos en el Libro de Visitas del hotel, según cuenta el mismo autor.

Por otro lado, existe material histórico en el Observatorio Astronómico de Córdoba que da testimonio de que en esa institución se han realizado exposiciones de placas fotográficas (Paolantonio, 2008), aunque no es claro que hayan sido con emulsiones nucleares. El material consta de placas expuestas y reveladas, con leyendas tipo secuencial, y de anotaciones en los sobres y cajas que las contienen. La Figura 1 muestra fotos de parte de ese material, en particular, una anotación de autor desconocido dentro de la caja en donde claramente se aprecia la referencia a Pampa de Achala y condiciones técnicas de ubicación y revelado de placas. En la parte externa de la misma caja se hace referencia a las fechas de su contenido, “1945  $\pm$  2 años” (Paolantonio, 2008). Además, Damián Canals-Frau, uno de los asistentes a las reuniones organizadas por Gaviola, publicó un *review* en la revista Ciencia e Investigación (Canals-Frau, 1949) sobre el método de las placas fotográficas aplicado al estudio de la radicación cósmica. En la primer figura de ese trabajo se ejemplifica una “estrella” y se menciona, en el rótulo: *Placa Kodak NTA expuesta durante 23 días en “El Cóndor”, Pampa de Achala, Provincia de Córdoba (2108 m de altura)*. Aparentemente, esas placas serían con emulsión fotográfica no nuclear. Acerca de los trabajos de Canals-Frau, Pedro Waloschek (2009) menciona,

*Recuerdo varias conversaciones con el físico Canals-Frau (un alumno de Guido Beck), que estaba organizando investigaciones sobre radiación cósmica (también con placas nucleares) en la Universidad de Córdoba ... ,*

lo cual da un indicio de que este material histórico provendría del trabajo de este físico en Córdoba.

Uniendo estos hechos, es razonable pensar que el material histórico existente en el Observatorio Astronómico de Córdoba corresponde a una actividad realizada en el Hotel El Cóndor, Pampa de Achala, por el grupo asistente a las reuniones informales organizadas por Gaviola. No hay mención alguna a estudios realizados con microscopios, pero el hecho de que se usara una “estrella” obtenida en Pampa de Achala en la publicación de Canals-Frau, indicaría que las placas eran de alguna forma analizadas con microscopios. Esas exposiciones habrían sido realizadas antes de 1947 y, por lo tanto, serían las primeras de las que se tiene indicio en Argentina para realizar estudios de reacciones nucleares

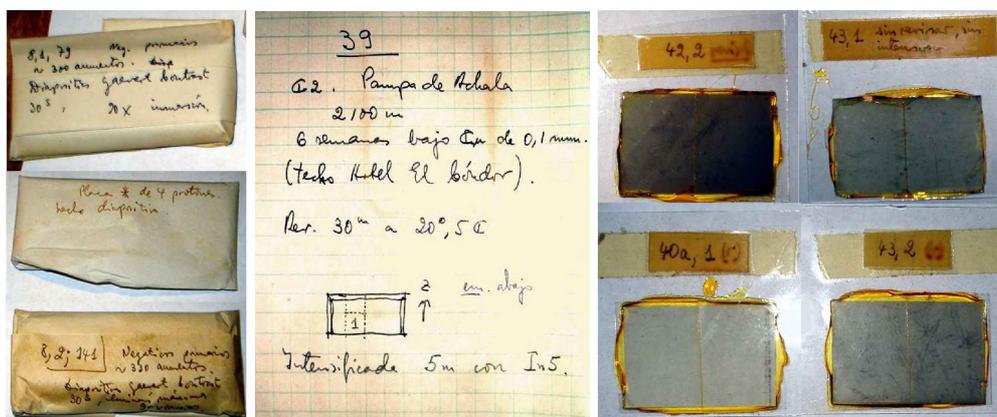


Figura 1 Parte del material histórico en el Observatorio de Córdoba (gentileza de Santiago Paolantonio). *Izquierda:* Sobres que contienen las placas. *Centro:* Anotaciones de autor desconocido incluidas con el material. *Derecha:* Algunas de las placas con sus rótulos.

con rayos cósmicos. No obstante, esas exposiciones no están debidamente documentadas ni se concretaron en publicación alguna de la que se encuentre registro, por lo que probablemente hayan sido parte de la actividad académica del grupo.

Esta “conclusión” no pretende acotar la contribución de Enrique Gaviola a esta rama de la ciencia argentina, es simplemente el relato de un evento puntual que, más bien, resalta la apertura a abordar temas de punta que mostraba Gaviola.

Unos años después de que Gaviola organizara sus reuniones informales en Pampa de Achala, otra historia comenzaba en Mendoza impulsada desde la Universidad Nacional de Cuyo (UNC). Con la intención de desarrollar la investigación básica en la zona, las autoridades de la UNC formaban el Departamento de Ciencias Puras, antecesor del Departamento de Investigaciones Científicas (DIC), cuyo programa centraban originalmente en dos objetivos puntuales, la construcción de un Observatorio Astronómico en San Juan y la de un Observatorio de Rayos Cósmicos en Mendoza. Al respecto el Rector de la UNC, Fernando I. Cruz, durante unas jornadas científicas en San Luis, en diciembre de 1949, diría

*... nosotros tendríamos dos naturales centros de atracción, dos construcciones que servirían de centro articulador de este Instituto; uno sería el Observatorio Astronómico, que este año empieza a construirse, y otro sería el Observatorio de Rayos Cósmicos en la Laguna del Diamante, que también está ya en los primeros trabajos de iniciación ...”* (Cruz, 1949).

La historia de la construcción de la llamada “Estación de Altura Juan Perón”, proyectada como observatorio de rayos cósmicos, está inmersa en la política nacional de la época, con expediciones cívico-militares, que incluyeron entregas de “réplicas del Sable Corvo de San Martín” a varios de sus protagonistas.

Pablo A. Pacheco (2008) realizó un rescate de información relevante a la iniciativa llevada adelante en Mendoza a fines de la década de 1940, con respecto a

rayos cósmicos, basándose en documentación de la UNC, en notas periodísticas en diarios de la época y en comunicaciones personales con algunos de los protagonistas. Sin analizar la trascendencia que Pacheco atribuye a esa iniciativa, lo concreto es que el edificio de la mencionada estación se construyó, aunque sin llegar a funcionar como observatorio de rayos cósmicos, ni contribuir al objetivo de formar un polo de desarrollo de investigación básica en la zona.

En abril de 1948, escribe Pacheco, se crea el Instituto de la Energía, dependiente de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (con sede en la provincia de San Juan). El instituto estaba dividido en tres Departamentos, el de Combustibles, el Hidro-Eléctrico y el Físico-Químico. Este último con la finalidad de estudiar las “*formas de energía atómica, eólica, solar, como también de la radiación cósmica*”. De la misma época es la creación en la UNC del ya mencionado DIC, en cuyo ámbito actuaban el ingeniero Otto Gamba, profesor del Departamento de Combustibles y que tuviera años después un papel relevante en la formación de la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica), y el suizo-italiano Giovanni Pinardi, doctor en química que llegó al país en 1946 y fue profesor de la UNC desde 1948. Fue durante este período que se le atribuye a Pinardi la propuesta de construir un Observatorio de Rayos Cósmicos. Pacheco menciona que el título de tal propuesta era “Observaciones acerca de los aspectos económicos de la creación de un Centro de Física Nuclear en la UNC”, presentado en diciembre de 1948. La ubicación pensada para tal construcción fue inicialmente las cercanías del volcán Maipo, a 5100 m de altitud, en dirección a la Laguna del Diamante, pero por razones logísticas terminó construyéndose a 3900 m. Al respecto Pedro Waloschek, por entonces estudiante de física que participó por corto tiempo en la construcción, menciona (Waloschek, 2009)

*... la difícil accesibilidad de la Estación de Altura Perón seguramente fue un factor negativo para los subsecuentes trabajos de investigación (de los cuales no tengo noticias). El excelente laboratorio de radiación cósmica de Chacaltaya en Bolivia, a 5200 metros de altura, era ya entonces accesible en auto y camión así como el Instituto de Biología de Altura en Mina Aguilar (a 4000 metros de altura) en Jujuy.*

En la Figura 2 se muestra el plano de la Estación de Altura propuesto a semejanza del construido en los Alpes, según el propio Pinardi, fechado en diciembre de 1949 cuando comenzó su construcción, y una foto con la obra finalizada en abril de 1950. Pinardi llevó adelante la construcción del edificio y adjudica a los esfuerzos del Rector de la UNC el crédito por haberse “*cristalizado*” la obra. Al respecto también Roederer (2002) en su relato se refiere al rector Cruz como “*hombre con gran visión del futuro*”.

En el contexto internacional de la época, después del descubrimiento del pión utilizando placas fotográficas con emulsiones nucleares, no resulta extraño que efectivamente Pinardi hubiera expuesto placas nucleares a varias altitudes en la zona explorada para la construcción de la base de altura e inclusive, como menciona Pacheco, en su residencia de Luján de Cuyo. Pinardi hacía, también, exposiciones públicas sobre el tema de los rayos cósmicos, según testimonian ediciones de diarios de la época. Sin embargo, de todo esto no existen publicaciones



Algunos años antes de ser abandonada, la Estación de Altura construida por la UNC recibió la visita de una expedición cívico-militar organizada en junio de 1950 con el objetivo de llevar instrumentación, de la cual no hay registros que haya sido utilizada para estudios de radiación cósmica, aunque sí para la realización de observaciones meteorológicas durante tres temporadas entre 1950 y 1952. Ese mismo invierno, el de 1950, Pinardi presentaba su renuncia con algunos detalles anecdóticos. En momentos en que la política científica nacional lidiaba con el caso Ronald Richter sobre el proyecto Huemul (ver Mariscotti, 1985) y se manejaba en forma individualista, sin consulta a la comunidad científica (ver por ejemplo Bernaola, 2001), es probablemente difícil dilucidar los pormenores de la renuncia de Pinardi. Mariscotti (1985), en el capítulo III (*Vida familiar, espías y otras inquietudes*) de su relato sobre el caso Richter y el proyecto Huemul sobre fusión nuclear, menciona:

*Pinardi [...] tuvo acceso al proyecto. Había estado en los EUA y a poco de llegar fue acusado de pasar informaciones al extranjero*

y citando un comunicado del por entonces Secretario General de la CNEA, coronel Enrique P. González, del 7 de agosto de 1950 dice:

*Para conocimiento del señor doctor Richter [...] se le informa que el profesor Giovanni Pinardi ha sido exonerado de su cargo y sometido a proceso, por haber incurrido en infidencias, ante autoridades de un país extranjero, que comprometen el secreto de trabajos que se realizan en el nuestro.*

Por su lado Pacheco (2008) se refiere a la renuncia de Pinardi al cargo en la UNC, citando al mismo protagonista:

*... cansado de las envidias y del ambiente político universitario hostil se aleja del proyecto (del Observatorio) a mediados de 1950.*

Los objetivos mencionados por los organismos de la UNC de mediados del siglo pasado referidos al estudio de los rayos cósmicos parecen algo confusos, trasluciendo la posibilidad de la utilización de esta radiación como fuente de energía masiva. En algún lugar de esa historia debió aclararse que, si bien el estudio de los rayos cósmicos podía arrojar luz sobre los procesos nucleares, el aprovechamiento de estos como forma de energía era, y sigue siendo, impensado. Tal vez el mérito más importante de la gestión de la UNC con respecto a la radiación cósmica haya sido la construcción del centro de altura y el intento por generar un polo de investigación regional, aunque su trascendencia se limitó a cierta ayuda logística a muy corto plazo, parte de la historia que viene a continuación.

Los primeros resultados científicos realizados con rayos cósmicos, obtenidos de la exposición sistemática de placas con emulsiones nucleares en la Argentina, y que iniciaran el camino en el que se formaron instituciones y recursos humanos en varias áreas de la ciencia, nace de la iniciativa de un grupo de estudiantes de física de la Universidad de Buenos Aires (UBA). A principios de 1949, cuenta Juan G. Roederer (2002), Estrella Mazzoli de Mathov volvía de una reunión científica en Brasil en donde se había enterado de las modernas formas de estudio de los rayos cósmicos. Estrella era Jefa de Trabajos Prácticos en las cátedras de Física

Elemental de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y realizaba su tesis doctoral con contadores Geiger-Müller. Con sus relatos entusiasmó a los entonces estudiantes de segundo y tercer año Beatriz Cougnet, Hans Kobrak, Juan Roederer y Pedro Waloschek para comenzar a estudiar esa nueva técnica con placas que ella misma había traído de Brasil, algunas sin exponer. El grupo logró montar un pequeño laboratorio en la vieja sede de Perú 222 de la UBA, equipado con un microscopio y elementos para revelar placas. Con esos recursos pudieron realizar una práctica sobre análisis de trazas en placas nucleares, la que presentaron al Director del Departamento de Física, Teófilo Isnardi, como prueba de factibilidad, con lo que obtuvieron su apoyo para lo que estaría por venir.

Se propusieron abordar el problema de la caracterización de la radiación cósmica, en particular su dependencia con la altitud y latitud geomagnética. Hacerlo en forma sistemática a varias alturas sobre los Andes podría brindar material para una tesis doctoral. Se planeó entonces una expedición piloto a los Andes utilizando las placas disponibles. Fue así que en julio de 1949 Roederer se dirigió a la zona de Puente del Inca, desde donde accedió al cerro Banderita Norte (3200 m) el día 23 de julio para dejar las placas en exposición por una semana. Giovanni Pinardi los había invitado a ir a Mendoza, por lo que apoyó la iniciativa del grupo de la UBA enviando a su secretario, Edmundo Pérez Crivelli, quien acompañó a Roederer durante la experiencia. A diferencia de las exposiciones anteriores ya mencionadas en esta sección, este evento sería la primera exposición de placas con emulsiones nucleares perfectamente registrada en la Argentina, hecho plasmado en la foto de la Figura 3.



Figura 3 Juan Roederer durante la exposición de placas con emulsión nuclear en el Cerro Banderita Norte (3200 m), Mendoza, Puente del Inca, 23 de julio de 1949 (Roederer, 2002).

Durante esa semana en Mendoza hubo oportunidad de conversar con Pérez Crivelli, un andinista con cierta experiencia, y surgió la idea de realizar una expedición al Aconcagua al verano siguiente, a fines de 1949. El viaje al Aconcagua sería para realizar mediciones sistemáticas en varios puntos de la falda oeste, entre el campamento base “Plaza de Mulas” (4325 m) y la cima. Los integrantes del

grupo de estudiantes se entusiasmaron y, cuenta Roederer, “*Hans Kobrak tomó la responsabilidad de organizar la expedición*”. No es posible verificar de qué manera Kobrak logró la ayuda necesaria para la expedición, pero parece verosímil que el coronel Nicolás Plantamura, un conocido de las autoridades de la UNC, tuviera intervención en esta operación. El traslado de equipamiento a Mendoza se realizó en un DC-3 del Ministerio de Aeronáutica y la logística hasta Plaza de Mulas corrió por cuenta del Regimiento de Alta Montaña en Uspallata, incluyendo un camión, una docena de mulas, soldados y hasta un cocinero durante los cuarenta y cinco días que duró la operación. Desde el campamento base realizaron ascensos en mula para colocar las placas a tres diferentes altitudes, de las cuales solo pudieron recuperar dos. Las placas eran reveladas en Plaza de Mulas y revisadas con un microscopio, pero el escaneo sistemático debía realizarse en el pequeño laboratorio en Buenos Aires. Allí es donde fallaron, relata Roederer, ya que al estar cursando materias no encontraron el tiempo para realizar la tarea sistemática que les hubiera permitido concretar la “*tan ansiada publicación científica de resultados*”, aunque hicieron dos presentaciones en la Reunión de la Asociación Física Argentina (AFA) del año 1950.



Figura 4 Expedición al Aconcagua en enero de 1950 (Roederer 2002).  
*Izquierda:* Hans Kobrak realizando mediciones de humedad ambiente.  
*Derecha:* Juan Roederer (izquierda) y Juan J. Giambiagi, quien asistió para control de la expedición enviado por el Director del Departamento de Física (UBA).

Mientras Roederer y Kobrak realizaban su expedición al Aconcagua, Pedro Waloschek había pasado un tiempo en Mendoza contratado por Pinardi como “soplador de vidrio” (para construir recipientes y aparatos de laboratorio de química) y ayudando en la construcción de la Estación de Altura. Waloschek (2009) recuerda, sin embargo, que

*... pude presentar a principios de abril 1950 un “Informe para la Instalación de un Taller para Soplado de Vidrio” para el Instituto mendocino [...] Pero como soplador de vidrio nunca trabajé en Mendoza, simplemente porque no había taller ni material adecuado.*

Por su lado, Beatriz Cougnet estaba en Alemania y había establecido contactos con el grupo de placas nucleares del Instituto Max Planck de Física en Göttingen, en particular con Karl Wirtz, codirector del instituto. Wirtz visitó a los estudiantes de la UBA a mediados de 1950 y se comprometió a proveerlos de placas nucleares para la nueva expedición que el grupo estaba planeando realizar en la nueva Estación de Altura Juan Perón. Esta vez el objetivo científico era poder captar alguna reacción nuclear en la que participara un pión que, como se mencionó anteriormente, había sido descubierto recientemente y atraía el interés de los físicos de la época.

Para ese entonces el tema del Proyecto Huemul, con su principal protagonista Ronald Richter, generaba dudas en el Gobierno, que estaba solicitando el asesoramiento de científicos extranjeros como Wirtz, relata Roederer (2002). Al mismo tiempo, se estaba gestando lo que sería la CNEA, uno de cuyos asesores era el ya citado Otto Gamba, de la UNC, quien al parecer recibió la recomendación por parte de Wirtz de captar a los estudiantes de la UBA en su plan por incorporar jóvenes a la institución en formación. Con ese canal establecido, el grupo de la UBA consiguió nuevamente contacto con la UNC para realizar la expedición que planeaban, pero esta vez el interlocutor no fue Pinardi sino Walter Georgii, el meteorólogo que lo sucedió después de su renuncia en agosto de 1950.

Waloschek y Roederer viajaron nuevamente a Mendoza a principios de 1951, haciendo base en la Estación de Altura y exponiendo las placas en la cima del Cerro Laguna a 5030 m, entre el 17 y 21 de febrero. Las placas fueron reveladas en Buenos Aires y escaneadas con éxito, ya que se pudieron localizar dos “estrellas” de las buscadas, dando lugar a la realización de la primera publicación científica internacional de la Argentina en este tema (Cougnet et al., 1952a), también incluido como informe del Departamento de Investigaciones Científicas de la UNC (Cougnet et al., 1952b). En la figura 5 se muestra la reacción nuclear detectada y publicada por el grupo.

El grupo estaba en funcionamiento y planeando su próxima campaña, esta vez con el objetivo de estudiar la absorción de la componente nucleónica de la radiación cósmica a baja latitud geomagnética, por lo que eligieron los Nevados del Aconquija, en Tucumán. La expedición se realizó en cooperación con el Departamento de Física de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT). Orlando Bravo, docente de ese Departamento y años más tarde miembro del Laboratorio de Placas Nucleares de la CNEA, fue el jefe de la expedición (ver Figura 6). Las placas fueron expuestas por Cougnet y Roederer entre 2600 y 5330 m, entre julio y agosto de 1951, y reveladas en el laboratorio del profesor Walter Seelmann-Eggebert, quien había sido contratado recientemente por la UNT y que años después formara un reconocido grupo en la UBA, iniciando la radioquímica en Argentina. Esta vez el escaneo de las placas se realizó en Alemania, de acuerdo a lo convenido con Wirtz, y los datos analizados fueron rápidamente publicados como parte de la tesis doctoral de Roederer (1952).

Esta cooperación inicial con la UNT germinó y rindió sus frutos un tiempo después en las figuras de investigadores reconocidos como José R. Manzano, entre otros.

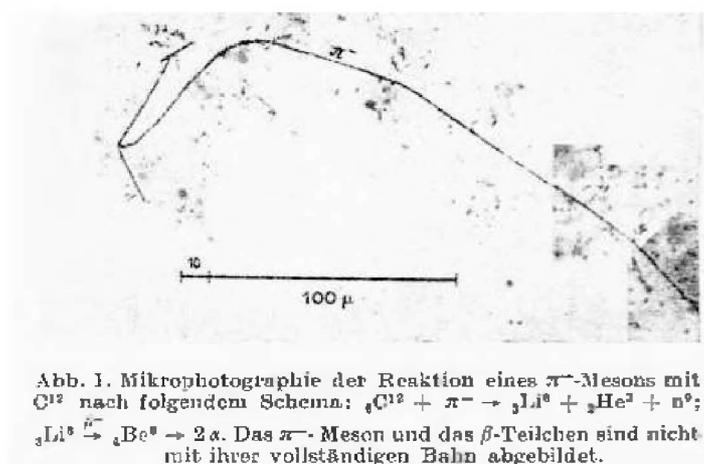


Figura 5 Reacción nuclear, o “estrella”, capturada durante la exposición de placas nucleares en el Cerro Laguna en febrero de 1951, dando lugar a la primera publicación argentina sobre el tema (gentileza del autor).



Figura 6 Orlando Bravo, de la Universidad Nacional de Tucumán, jefe de expedición a los Cerros del Aconquija, agosto de 1951. Se lee “U.N.T., peligro, no tocar”. Gentileza Juan Roederer.

### 3. La División de Altas Energías en la CNEA: 1955-1964

La historia relatada en la sección anterior se iría forjando hasta la concreción formal de la División de Altas Energías en la CNEA. Hacia 1952 la CNEA, creada el 31 de mayo de 1950, tomaba posesión del edificio de Av. del Libertador 8250, en Buenos Aires, y se comenzaba a formar el grupo dedicado a Radiación Cósmica (“cosmicistas”, refiere Roederer), con un Laboratorio de Placas Nucleares perfectamente equipado. La creación de este laboratorio se remonta a fines

de 1951, o principios de 1952, cuando Otto Gamba contacta a Pedro Waloschek en la sede de Perú 222 de la UBA. Gamba lo convenció para que se hiciera cargo de la implementación del laboratorio en el edificio de Av. del Libertador, que había sido recientemente expropiado al Instituto Massone, dedicado a la producción de fármacos. Waloschek (2009) relata algunas de sus impresiones sobre ese episodio:

*Visité los ambientes y me quedé horrorizado viendo la destrucción de los valiosos aparatos para producción de medicamentos. Simplemente los tiraron por la ventana para dar lugar a nuestro laboratorio [...] Gamba me aclaró que con la CNEA se trataba de dar un fin útil a la desastrosa aventura Richter.*

La primer persona a la que Waloschek contactó para formar el Laboratorio de Placas Nucleares fue Emma Pérez Ferreira, futura presidente de la CNEA, quien cursaba los últimos años de física en la UBA. Otras incorporaciones incluyeron a Horacio Ghielmetti, futuro director del IAFE, y Adulio Cicchini, quien tendrá bajo su dirección mediciones de rayos cósmicos en Bariloche. Completaban el plantel de cosmicistas Beatriz Cougnet y la jefa de microscopistas, Alicia Díaz Romero, además de Roederer que se incorporó a fines de 1952 cuando regresó de Alemania.

El grupo cubría dos aspectos científicos distintos relacionados con la radiación cósmica, por lo que el Laboratorio de Placas Nucleares derivó en la creación de la División de Altas Energías, dirigida por Roederer, con dos nuevos laboratorios. Por un lado, el Laboratorio de Partículas Elementales, dirigido también por Roederer, se dedicaba al estudio de las reacciones nucleares utilizando la radiación cósmica para la investigación sobre partículas elementales. Por el otro, el Laboratorio de Radiación Cósmica, dirigido por Ghielmetti, de carácter más astrofísico, para el estudio del origen de los rayos cósmicos y su modulación con la actividad solar.

El Laboratorio de Partículas Elementales siguió su camino y fue dejando de lado la utilización de rayos cósmicos como herramienta a medida que se fueron desarrollando los modernos aceleradores. El Laboratorio de Radiación Cósmica, por su lado, comenzaba un camino de transformaciones que lo llevaría desde el desarrollo de detectores de muones y neutrones, pasando por detectores de radiación X y gamma montados en globos estratosféricos y cohetes, hasta el desarrollo de instrumental para satélites desde el IAFE y la Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE). Este largo camino comenzó en este Laboratorio con la preparación para el Año Geofísico Internacional (AGI), que se planteaba para el período julio de 1957 a diciembre de 1958. En ese período, que correspondió a un máximo del ciclo de actividad solar de once años, el International Council of Scientific Unions (ICSU) propuso realizar actividades en todas las disciplinas de ciencias de la Tierra, propuesta a la que Argentina adhirió en varias de ellas, incluyendo radiación cósmica. Fue en estos primeros años de preparación para el AGI en que la División de Altas Energías tuvo un afluente de colaboradores de la UNT, incorporándose José R. Manzano, quien llegara a ser Director del Laboratorio Ionosférico de Tucumán, Orlando Bravo, Lucía Grimaldi y Orestes Santochi.

Para el AGI se instaló instrumental en tres estaciones u observatorios, Mina Aguilar (Jujuy), Villa Ortúzar (Ciudad de Buenos Aires) y Ushuaia. Posterior-

mente se incorporó también la estación Ellsworth, Antártida, que fuera montada por EUA y transferida a la Argentina en 1958, bajo la responsabilidad del Instituto Antártico (Manzano, 1997; Roederer, 2009). La estación de Mina Aguilar había sido seleccionada por Roederer y Waloschek en 1953, en una búsqueda por un sitio adecuado (4000 m de altura y baja latitud geomagnética), de fácil accesibilidad y con suficiente infraestructura para albergar equipamiento y personal por un tiempo prolongado. Para el AGI había un plantel de técnicos muy importante asignado a cada observatorio y el proyecto en general era responsabilidad de Ghielmetti y Cicchini. Los tucumanos tomaron bajo su responsabilidad Mina Aguilar, una vez que regresaron a la UNT, en agosto de 1961 (Manzano, 1997). El tipo de instrumental estaba especificado en el programa internacional del AGI y consistía de un telescopio de muones (contadores Geiger-Müller en coincidencia), para medir el flujo de estas partículas, y un monitor de neutrones (denominado Pila monitor de neutrones) para estudiar la modulación causada por variaciones en el campo magnético debidos a la actividad solar. En un informe técnico del grupo de electrónica que construyó los circuitos de estos instrumentos se mencionan detalles interesantes de todo el equipamiento (Manifiesto, 1960).

El monitor de neutrones se muestra en la Figura 7. Cubiertos de plomo y parafina, se encuentran en el centro doce contadores proporcionales de  $\text{BF}_3$  (Trifluoruro de Boro). Como debía garantizarse que el equipo funcionara en forma continua, se instalaron dos monitores en cada observatorio para cubrir posibles salidas de servicio de uno de ellos. Cada monitor constaba de seis contadores en paralelo y su correspondiente electrónica. Los datos se grababan mecánicamente (papel perforado) y se registraban fotográficamente con una cámara que tomaba un cuadro cada quince minutos, en condiciones normales de conteo, o cada un minuto si el conteo había disparado la alarma de fulguración solar. Todos los instrumentos de indicación de interés se colocaron en un solo panel para realizar las tomas fotográficas, como se muestra en la misma figura.

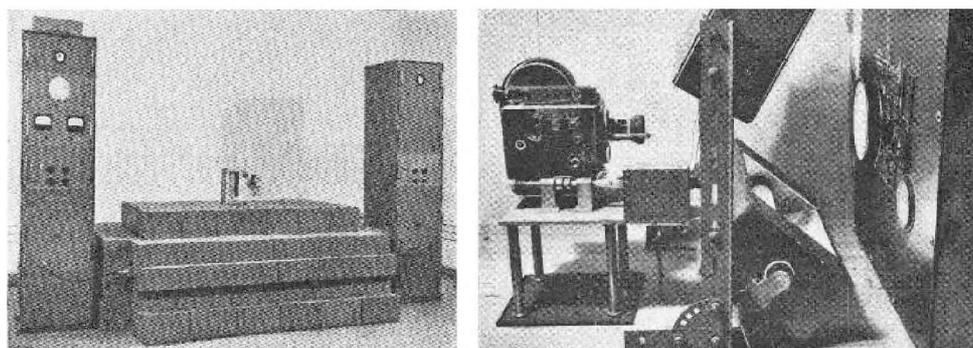


Figura 7 Monitor de neutrones utilizado para el Año Geofísico Internacional, 1957-58. *Izquierda:* Contadores bajo plomo y parafina, con su electrónica. *Derecha:* Filmadora que registraba los conteos tomando de a un cuadro cada 15 minutos. Tomado de Manifiesto (1960).

El telescopio de muones se muestra en la Figura 8. Todo el arreglo constaba de nueve bloques de doce contadores Geiger-Müller, montados sobre una plataforma giratoria con la distribución mostrada en la figura. Cualquier pul-

so eléctrico obtenido de cada uno de esos bloques, al ser atravesado por algún muón, se pasaba a un circuito lógico de coincidencias cuyas combinaciones daban como resultado el conteo (flujo) de muones en distintas direcciones dentro de un dado ángulo sólido. El requerimiento para el AGI estaba cubierto con el “telescopio cúbico”, que en este caso corresponde al arreglo de tres bloques en coincidencia mostrado en la figura, que permitía medir el flujo de muones con un campo visual de 90° apuntando al cenit y que, también, se construyó doble para asegurar continuidad de las mediciones. No se menciona en el informe citado, pero el resto de los telescopios construidos a partir de las combinaciones de coincidencias, sería un agregado decidido por el Laboratorio de Radiación Cósmica, incluyendo la plataforma giratoria, ya que para el telescopio cúbico la posibilidad de girar era irrelevante.

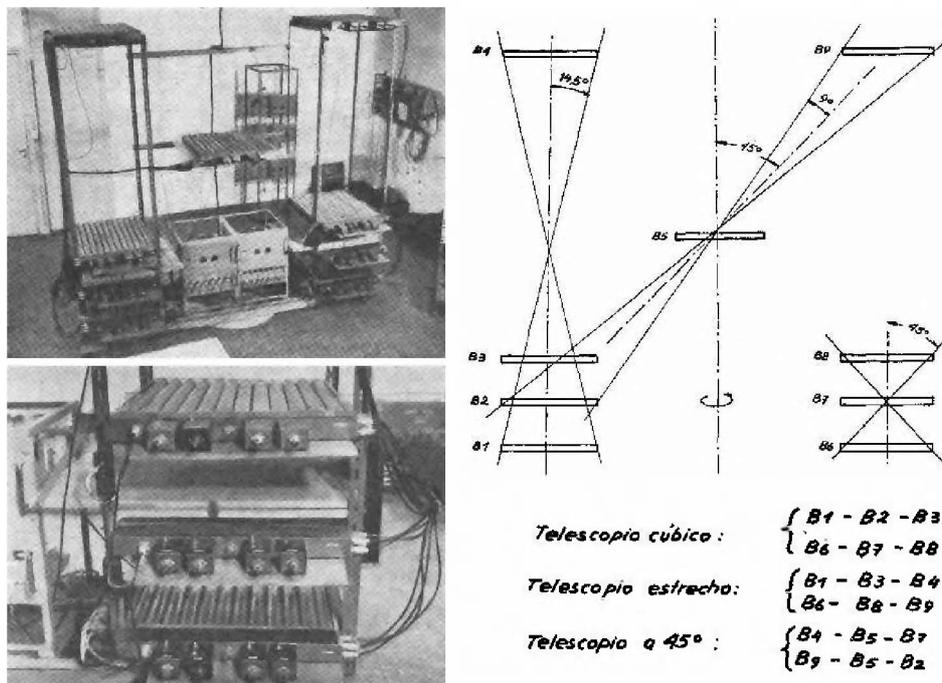


Figura 8 Telescopios de muones utilizados para el Año Geofísico Internacional, 1957-58. *Izquierda arriba:* Conjunto de 9 bloques de 12 contadores Geiger-Müller y la electrónica asociada, montados sobre una plataforma giratoria. *Izquierda abajo:* Detalle del telescopio cúbico de 3 bloques de 12 contadores, requerido para el AGI. *Derecha:* Configuración de los 9 bloques y sus combinaciones lógicas para determinar flujos en distintas direcciones y ángulos sólidos. Tomado de Manifiesto (1960).

La puesta en funcionamiento y toma de datos de este instrumental durante el AGI significó para nuestro país, y en particular para la División de Altas Energías, la oportunidad de brindar un aporte significativo a nivel mundial y la posibilidad de establecer vinculaciones con centros internacionales reconocidos. Ese movimiento permitió la realización de la muy importante Conferencia

de Rayos C3smicos de Bariloche, en 1959 (ver Korff & Chasson, 1959), y una expansi3n de conocimientos hacia otros centros en el pa3s. Adem3s de la UNT, que fue parte activa de los trabajos del AGI, Roederer traslad3 a la Universidad de C3rdoba sus conocimientos formando investigadores con el dictado de cursos durante 1962 en el Instituto de Matem3ticas, F3sica y Astronom3a de la Universidad Nacional de C3rdoba. Un tiempo m3s tarde, el grupo de C3rdoba realizar3a observaciones con monitores de neutrones, seg3n figura registrado en las bases de datos actuales (ver Tabla 1), entre 1964 y 1970. A nivel local se lograron publicaciones con repercusi3n internacional sobre propagaci3n de protones c3smicos durante fulguraciones solares. A esta 3poca pertenece tambi3n el trabajo de Tesis Doctoral de Jos3 Manzano (1963), en la que se utilizan datos de 30 estaciones con monitores de neutrones, incluyendo a las de Buenos Aires, Ellsworth y Mina Aguilar.

No menos importante es que de las actividades realizadas para el AGI surgi3 el inter3s en el grupo por la f3sica espacial que guiar3a el camino de los a3os siguientes. En el a3o 1957 nac3a la era satelital con el lanzamiento del primer sat3lite artificial, el Sputnik-1, por la Uni3n Sovi3tica. Para el a3o siguiente James Van Allen hab3a descubierto los cinturones de part3culas atrapadas en la magnet3sfera terrestre. Dada la asimetr3a de la magnet3sfera, existe una zona en el Atl3ntico Sur en donde uno de los cinturones se encuentra a pocos cientos de kil3metros de la superficie terrestre, por donde las part3culas cargadas pueden precipitar a la Tierra. En particular, el denominado "precipitado de electrones" relativistas deber3a producir radiaci3n X por efecto de frenado. La posibilidad de observar esa radiaci3n y dada la cercan3a de Argentina con este punto peculiar, llamado Anomalia del Atl3ntico Sur, motiv3 al grupo a realizar un plan de observaciones en globos, cuyo encargado de llevarlo adelante fue Horacio Ghielmetti.

Desde febrero de 1962 hasta diciembre de 1963, se realizaron 20 lanzamientos desde Buenos Aires (los primeros solo de prueba), cuatro desde Chamental, cuatro desde Posadas y tres desde el Buque Oceanogr3fico Comodoro Laserre, sobre el Atl3ntico, a 1500 km al este de Buenos Aires (Ghielmetti et al., 1964a y 1964b). Todos los lanzamientos llevaban contadores Geiger-M3ller y seis de ellos, repartidos entre Posadas, Buenos Aires y el Atl3ntico, llevaban detectores de Rayos X en tres bandas de energ3a (20 – 60 keV; 60 – 150 keV; > 150 keV). La carga no superaba 1.5 kg de peso y un par de litros de volumen. No se menciona expl3citamente en los trabajos publicados, pero presumiblemente los globos utilizados eran meteorol3gicos. Las notas period3sticas de la 3poca dan testimonio de los trabajos realizados con respecto a esta anomalia (ver Figura 9). En particular, el Buenos Aires Herald pondera la creatividad de los argentinos por haber hecho ciencia de relevancia con globos muy baratos, probablemente desconociendo algunos detalles de esa creatividad, como una v3lvula estabilizadora ideada por Ghielmetti utilizando l3tex de alta calidad extra3do de art3culos de uso popular (Roederer, 2009). Como curiosidad, se mencionan a las personas que aparecen en los agradecimientos de los trabajos que se acaban de citar. Adem3s de nombrar a viejos conocidos que han pasado por el CNRC, el IAFE y, en alg3n caso la CONAE, como J. C. Barberis, J. Duro, E. Gandolfi y V. Mughlerli, los autores agradecen a Constantino Ferro Font3n, entre otros, por "*su ayuda durante la preparaci3n de lanzamientos y evaluaci3n de datos*". Un peque3o tributo al

recientemente fallecido “Ferro”, un querido profesor de Física del Plasma y del IAFE.

Buenos Aires, Argentina, May 11 (AP).—When you lack a multimillion dollar rocket and satellite program to seek out the secrets of space, what do you do? You send up \$50 balloons. The Argentines did it, and made it work. “We confirmed a prediction about the Van Allen radiation belt, and we hope to do more in our future studies,” said Dr. Juan Roederer, 34, director of the National Center of Cosmic Radiation, the National Research Council, the National Atomic Energy Commission and the University of Buenos Aires.



Figura 9 Diarios del año 1964 documentando los anuncios sobre las mediciones realizadas con instrumentos en globos (extraído de Roederer, 2002). *Izquierda:* Buenos Aires Herald, 11 de mayo. La nota pondera la creatividad de los argentinos por haber hecho ciencia de relevancia con globos muy baratos. *Derecha:* La Prensa. Conferencia de prensa en la FCEyN, UBA. De izquierda a derecha: Horacio Ghielmetti, Juan Roederer y Manuel Sadosky, vicedecano de Exactas (UBA).

#### 4. El Centro Nacional de Radiación Cósmica: 1964-1971

El Laboratorio de Radiación Cósmica perteneciente a la CNEA tenía cada vez más identidad propia, más derivada hacia la física del espacio que a la energía nuclear. En 1962 el Laboratorio realiza un convenio con la UBA, por el cual sus actividades son apoyadas por la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, ya en Ciudad Universitaria. En este proceso, que terminaría un par de años más tarde, Rolando García, Decano de Exactas, tendrá un papel importante. Roederer (2002) menciona este protagonismo de García:

*... Dr. Rolando García, quien iba a jugar un papel clave en la creación, en 1964, del Centro Nacional de Radiación Cósmica.*

En abril de 1964 se firmó un convenio tripartito entre la CNEA, el CONICET y la UBA creándose el Centro Nacional de Radiación Cósmica (CNRC), con sede en el nuevo Pabellón I de Ciudad Universitaria, que los integrantes del flamante Centro ya venían ocupando merced al convenio de cooperación anterior. El primer Director del CNRC fue el mismo Roederer, aunque ya comenzaba a volcar su interés hacia las partículas de Van Allen más que a la detección de radiación cósmica. Roederer fue sucedido por Ghielmetti en 1966.

En los años en que el CNRC se formaba, el viejo Laboratorio de Radiación C6smica se preparaba para otro evento internacional propuesto por la ICSU, la misma organizaci6n que haba lanzado el AGI. En este caso, el evento fue un m6nimo del ciclo solar, por lo que se lo denomin6 A6o Internacional del Sol Quiet (“International Quiet Sun Year”) AISQ, entre abril de 1964 y diciembre de 1965. Muchas instituciones argentinas participaron de este importante evento, organizadas a nivel nacional por una comisi6n creada a tal efecto, la Comisi6n Nacional para la Investigaci6n del Sol Quiet (CNAISQ). Para el estudio de la radiaci6n c6smica se propuso esta vez construir una red internacional de monitores de neutrones m6s sensibles, los Supermonitores de Neutrones, denominados NM-64 (Neutron Monitors 1964).

En la Figura 10 se muestra un ejemplo de instalaci6n con este tipo de detector. El principio de detecci6n segu6a siendo el mismo que el utilizado en las instalaciones anteriores para el AGI, segu6an siendo contadores proporcionales de  $\text{BF}_3$ , aunque el 6rea de colecci6n de cada elemento era sensiblemente mayor. Los contadores se colocaban de a tres en paralelo, pudiendo haber varios conjuntos de tres monitores en un observatorio, indicado en el primer n6mero del c6digo identificatorio del instrumento (por ejemplo Chacaltaya es 12-NM-64, identificando a un observatorio con 12 contadores de neutrones). El arreglo de conjuntos de tres monitores se instalaba de la forma indicada en la figura, con una cobertura de parafina utilizada como moderador de la energ6a de los neutrones, ya que los detectores son sensibles a neutrones t6rnicos (de baja energ6a).

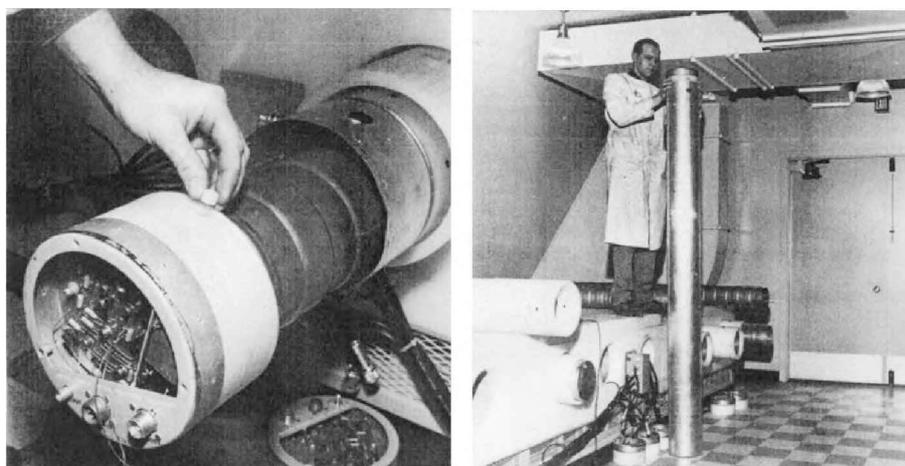


Figura 10 Im6genes de los supermonitores de neutrones, extra6das del Manual del Operador. *Izquierda:* Detalles de la electr6nica. *Derecha:* Vista de un contador individual desarmado durante mantenimiento. El operador est6 parado sobre el arreglo de contadores.

En Argentina “*Ghielmetti mont6 supermonitores en Buenos Aires y Ushuaia*”, recuerda Manzano (1997), el primero ya no en Villa Ort6zar, sino en lo que actualmente es el aula del IAFE, en Ciudad Universitaria. En los comienzos, los datos eran grabados como en los viejos tiempos, en cintas perforadas. A medida que las t6cnicas de adquisici6n y almacenamiento de datos se fue-

ron desarrollando, se pudo realizar una recuperación de información, la cual fue puesta a disposición del público recientemente, en 2001 (World Data Center for Cosmic Rays, WDCCR). La Tabla 1 contiene un listado de esa información correspondiente a los observatorios de Argentina, tal cual se especifica en esa base de datos.

Tabla 1 Períodos de funcionamiento de monitores y supermonitores de neutrones, lugar de instalación y dependencia a la que pertenecieron, según datos disponibles en la actualidad.

Observatorio	Período	Dependencia
Buenos Aires	1957-1966	CNRC (Villa Ortúzar - Aula IAFE)
Córdoba	1964-1970	IMAF - Universidad Nacional de Córdoba
Ellsworth	1959-1961	Laboratorio de Radiación Cósmica (CNEA)
Mina Aguilar	1957-1969	Universidad Nacional de Tucumán
Ushuaia	1957-1972	Instituto de Astronomía y Física del Espacio

Para esa época existía en la UNT el Laboratorio de Radiación Cósmica del Instituto de Física, cuya vinculación con el CNRC era, al menos, a través de la cooperación existente entre los científicos de ambas instituciones. En la UNT se habían comenzado a realizar mediciones de la ionósfera desde la Estación Ionosférica Tucumán (EITUC), en 1957, como parte de las actividades del AGI (Ezquer, 2007). La UNT tenía convenios con la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales (CNIE), la cual conjuntamente con la NASA (EUA) aprobaron en 1963 una propuesta para realizar mediciones ionosféricas con instrumentos en cohetes (proyecto ION 64), siendo el director científico Sandro M. Radice-lla. Desde 1964 se realizaron estas mediciones desde el centro de lanzamientos de Chamental, La Rioja, con instrumental desarrollado por Carlos B. Boquete y Mario H. Acuña en el Laboratorio de Desarrollos Espaciales del Instituto de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNT. Una segunda versión de ese proyecto (ION 67) fue dirigido científicamente por Argelia H. Cossio de Ragone, en 1967. José R. Manzano, que había pasado un tiempo en la Universidad de Minnesota, EUA, trabajando en radiación cósmica, se hizo cargo en 1971 de la dirección del Laboratorio de Ionósfera creado en 1966 en la UNT.

El AISQ tomó a los integrantes de la UNT en buena posición para participar del plan de instalación de supermonitores de neutrones, con lo que pasaron a hacerse cargo del observatorio de Mina Aguilar. La actividad en la UNT con respecto a la utilización de los datos de la red de monitores de neutrones se puede ver a partir de algunos trabajos expuestos durante el “VI Seminario Interamericano sobre Radiación Cósmica”, realizado en La Paz, Bolivia, en julio de 1970. Uno de ellos es un análisis de variaciones en la componente nucleónica de la radiación cósmica entre 1959 y 1963, anterior a la instalación de supermonitores (Ragout et al., 1970), mientras que un segundo trabajo analizaba tres eventos solares correspondientes a 1958, 1961 y 1969, con 16 estaciones que incluían a las de Buenos Aires, Mina Aguilar y Ushuaia (Manzano et al., 1970).

Coincidentemente con el inicio del AISQ en 1964, el MIT (Massachusetts Institute of Technology) publicó una recopilación de los trabajos realizados en todas las áreas intervinientes en los estudios del evento anterior, el AGI, con motivo de conmemorar el centésimo aniversario de la Academia Nacional de Ciencias de EUA ocurrida un año antes, en 1963. El trabajo consta de dos volúmenes conteniendo 43 capítulos, siendo Roederer el único científico de un país en desarrollo que contribuyera con uno de esos capítulos (Roederer, 1964).

En 1965 comenzó en el CNRC la realización de mediciones de radiación cósmica con instrumental a bordo de cohetes fabricados por el Instituto de Investigaciones Aeronáuticas y Espaciales (IIAE), creado en 1961 por la Fuerza Aérea Argentina. La idea de utilizar cohetes era superar la altura máxima de aproximadamente 38 km a la que llegaban los globos lanzados unos años antes. Los resultados obtenidos desde 1963 con instrumental en globos pequeños habían parecido confirmar la emisión de rayos X por el precipitado de electrones proveniente de los cinturones de Van Allen. Sin embargo, se descubrió más tarde que existe una componente galáctica en esta banda del espectro que compite con la emisión buscada. Hay, además, una componente de rayos X residual en la atmósfera por encima del nivel de los globos, que complicaba la discriminación de la radiación producida por el supuesto precipitado de electrones cerca de la Anomalía del Atlántico Sur. Yendo más alto, no solo se atenuaría esa componente, sino que los rayos X buscados sufrirían menos absorción atmosférica. Hubo varios lanzamientos con instrumental a bordo para el estudio de radiación cósmica, de los cuales se pueden citar referencias concretas de dos lanzamientos realizados siguiendo este plan, uno en diciembre de 1967, con el cohete Orión N<sup>o</sup> 24, que alcanzó aproximadamente 90 km de altura, y otro en agosto de 1969, con el Orión N<sup>o</sup> 31, que alcanzó los 80 km de altura (Ghielmetti, 1970), ambos con idéntica instrumentación (Godel, 1969).

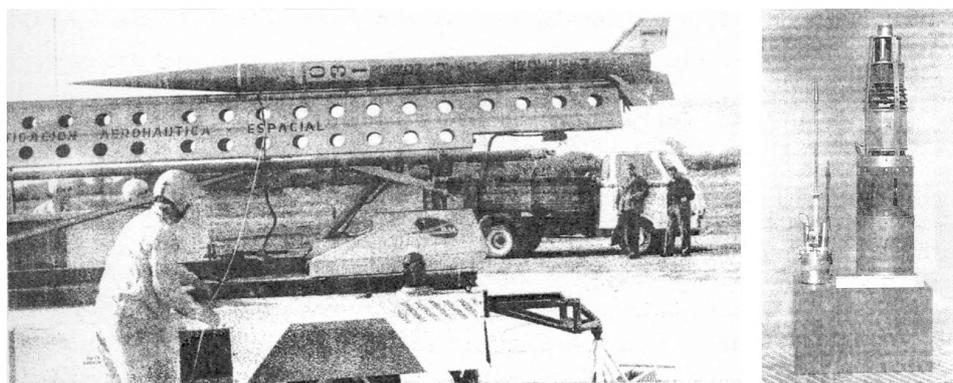


Figura 11 Lanzamiento de instrumental montado en un cohete Orión II. *Izquierda:* Preparativos antes del lanzamiento en Chamental, La Rioja. *Derecha:* Ojiva con el instrumental: contadores Geiger-Müller y cristal centellador para medición de rayos X.

En la Figura 11 se muestra la foto del cohete en preparación para uno de los lanzamientos, realizados desde el centro de lanzamientos de Chamental. Se muestra también la ojiva con la carga útil, conteniendo cuatro contadores

Geiger-Müller para registrar partículas cargadas y calibrar, un cristal de centelleo para medición de rayos X, además de plaquetas con circuitos electrónicos, baterías, transmisores y un sensor solar para referenciar la trayectoria. En la Figura 12 se muestra una página del informe con datos de este último lanzamiento y los responsables de cada área. En ese informe se hace referencia también a las instituciones participantes y sus responsabilidades: el CNRC (detectores, telemetría y baterías), el Instituto de Ingeniería Electrónica de la UNT (transmisión y antena) y el IIAE de la Fuerza Aérea (lanzamiento y sistema de separación de la ojiva), todo coordinado por la CNIE.

<u>LANZAMIENTO DEL COHETE ORION II - Nº 31</u>	
<u>Equipo de Lanzamiento (IIAE)</u>	<u>Equipo Científico (CNRC):</u>
<u>Dirección de Lanzamiento:</u>	Lic. Horacio Ghielmetti.
Director-Com. Aldo Zeoli.	Ing. Alberto M. Godel.
Dir. Asist.-Vicecom. Oscar Juliá.	Ing. Juan C. Barberis.
<u>Equipo de Trayectoria:</u>	Sr. Ricardo Rastelli.
Jefe-Mayor Raúl Flores.	
<u>Equipo de Montaje:</u>	
Jefe-Mayor Luis Cueto.	
<u>Equipo de Radar:</u>	
Jefe-1 <sup>er</sup> Tnte. Juan Luscher.	
 <u>Coordinador:</u> Vicecom. Miguel Sánchez Peña (CNIE)	
<u>Lugar de Lanzamiento:</u> CELPA, Chamental, La Rioja.	
<u>Latitud:</u> 30°22'S.	
<u>Longitud:</u> 66°17'O.	
<u>Fecha de Lanzamiento:</u> 28 de agosto de 1969.	
<u>Hora de Lanzamiento:</u> 10 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup> T.L. - 14 <sup>h</sup> 22 <sup>m</sup> 20 <sup>s</sup> T.U.	
<u>Fecha del Informe:</u> 11 de setiembre de 1970.	

Figura 12 Planilla con datos del lanzamiento del Orión Nº 31.

El lanzamiento del Orión 24 en 1967 había sido realizado con éxito, pero las observaciones debían repetirse porque la altitud no pudo ser determinada con suficiente precisión, complicando la interpretación. El Orión 31 fue también un lanzamiento exitoso, pero hubo un problema por el cual la cobertura de la ojiva no se despegó y, consecuentemente, la medición de radiación X no se pudo realizar. En el informe se concluye, sin embargo, que todas las observaciones, salvo la de rayos X, coincidieron con las del lanzamiento anterior y que, por lo tanto, los flujos medidos en 1967 en esa banda electromagnética se confirmaron (Ghielmetti, 1970).

También desde el Laboratorio de Radiación Cósmica de la UNT se organizaron este tipo de lanzamientos con cohetes para medición de rayos X galácticos (Santochi et al., 1970). En enero de 1968 y en mayo de 1970 se realizaron sendos lanzamientos de cohetes Orión, pero desde una posición más al sur, desde la base CELPA-Atlántico, en Mar Chiquita, Buenos Aires. Los lanzamientos fueron exitosos y se obtuvieron resultados preliminares coincidentes con observaciones de otros autores.

Cabe mencionar aquí las observaciones de líneas de emisión de rayos X realizadas por un grupo extranjero (Johnson et al., 1972). Mediante instrumentación montada en globos estratosféricos, estos autores lograron la primera indicación de líneas de emisión proveniente de la región del Centro Galáctico, mediante un vuelo de 12 horas realizado el 25 de noviembre de 1970 desde la ciudad de Paraná, Entre Ríos, hasta algún lugar en San Luis, donde se produjo la recuperación de la carga.

## 5. Experimentos de Altas Energías desde el IAFE: 1971-1978

Los procesos que habían comenzado en los años cincuenta con la creación del Laboratorio de Radiación Cósmica, terminarán con la fundación del Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE), en diciembre de 1969, para cubrir la necesidad de una especialización en astrofísica. Las páginas de esta parte de la historia, sobre este instituto que comenzó a funcionar en 1971, pueden verse en esta misma publicación (Melita, 2009). El IAFE tuvo una historia rica en desarrollo de instrumental en globos, cohetes y satélites, experiencia que sirvió también a la fundación de la CONAE, con la cual el IAFE interactúa en la actualidad en temas relacionados con análisis de imágenes satelitales. Lo que corresponde a altas energías, sin embargo, estuvo concentrado en instrumental montado en globos estratosféricos entre los años 1971 y 1978, cuyos trabajos fueron publicados muchos años después, en los noventa. En esta etapa los globos eran más grandes que los utilizados en los comienzos del CNRC, con instrumentos más sofisticados y más pesados, extendiendo el espectro observado de rayos gamma secundarios hasta rangos de altas energías ( $\sim 100$  MeV). En particular, las primeras mediciones desde Argentina en este rango de energía publicadas en una revista internacional (Azcarate et al., 1992), fueron tomadas desde globos lanzados en Paraná, Entre Ríos, en 1973 y Reconquista, Santa Fe, en 1978. En los años siguientes y hasta la creación de la CONAE, el grupo experimental del IAFE se volcó hacia instrumental en satélites. Para una descripción de la historia del IAFE ver el citado trabajo de Mario Melita (2009).

## 6. Astronomía del TeV con telescopios Cherenkov: 1988-1997

Una década después de los últimos experimentos de altas energías en el IAFE, otra historia totalmente nueva comenzaba en la Argentina. Varios órdenes de magnitud por encima en energía, la embrionaria astronomía gamma del TeV hacía su arribo. Los antecedentes internacionales que motivaron este arribo merecen cierto espacio que será dedicado en los próximos cuatro párrafos.

La radiación gamma y los detectores para registrarla eran conocidos mucho antes de que se pensara que podría existir este tipo de radiación proveniente del espacio. Por suerte para nuestra existencia, la atmósfera es opaca a la radiación gamma. No es posible, además, concentrar la radiación gamma utilizando reflexión o refracción, como lo es para otras bandas del espectro electromagnético. Estos hechos causaron un inevitable retraso en el desarrollo de la astronomía gamma, ya que hubo que esperar a que se desarrollaran los métodos que utilizan los fenómenos por los cuales se deduce la dirección y energía de un rayo gamma. En particular, la generación de pares electrón-positrón en presencia de un cam-

po eléctrico (de un núcleo), efecto utilizado en detectores gamma en órbita, o la producción de luz Cherenkov de las partículas cargadas de una cascada producida en la atmósfera terrestre, para astronomía gamma desde Tierra. Hacia 1950, los trabajos pioneros en la detección de pulsos Cherenkov en aire realizados por el británico John V. Jelley (Galbraith & Jelley, 1953) se reconocen como el comienzo del desarrollo de lo que hoy se utiliza para la detección de cascadas atmosféricas de partículas, la llamada *técnica Cherenkov atmosférica* (ver por ejemplo Weekes, 1988). Neil A. Porter, también británico que desarrolló su vida científica en Irlanda, trabajó con Jelley y tuvo como discípulo al irlandés Trevor C. Weekes, quien muchos años más tarde sería el gestor de los éxitos que ubicarían a la astronomía gamma del TeV como una rama establecida de la astrofísica de altas energías.

Las primeras estimaciones teóricas que dieron esperanza a la posibilidad de la astronomía gamma son las de Philip Morrison (1958), quien predijo flujos en el rango de los 100 MeV bastante más elevados de los que hoy se conocen, pero que dio impulso al desarrollo de observaciones con instrumentos en globos y satélites. La primer predicción teórica sobre la fuente más intensa conocida al presente, la Nebulosa del Cangrejo (*Crab*), pertenece a Giuseppe Cocconi (1959), quien modelando las observaciones de la radiación sincrotrón en radio realizó una estimación también muy optimista de la emisión de Crab. Cocconi hizo sus predicciones para arreglos de detectores de partículas en tierra, lo que motivó varios experimentos que fallaron en su intento de detectar a Crab no solo porque esas estimaciones eran optimistas, sino porque las energías umbrales de los arreglos eran muy elevadas ( $\sim 100$  TeV) (ver por ejemplo Weekes, 2003). Bajar ese umbral de energía era inmediato si en vez de utilizar detectores de partículas se usaban detectores Cherenkov, como los desarrollados por Jelley. Así, en Crimea (URSS), se realizaron las primeras observaciones sistemáticas sobre Crab, entre otras fuentes, utilizando doce detectores Cherenkov en coincidencia para obtener muestreos del frente de fotones Cherenkov producido por las cascadas atmosféricas. El experimento se realizó entre 1960 y 1964, obteniéndose como resultado cotas máximas menores al flujo estimado por Cocconi sobre Crab y logrando una energía umbral de 4 TeV. Lo interesante de este experimento, y muchos otros que vendrían a partir de lo desarrollado por Jelley, es que para la óptica se utilizaban los muy abundantes “*searchlights*” de la Segunda Guerra Mundial. Efectivamente, estos aparatos utilizados para el seguimiento de aviones enemigos desde posiciones en tierra tenían espejos parabólicos de entre 0.6 y 1.5 m de diámetro, dependiendo del país de origen, con una lámpara de arco muy potente en sus focos y distancia focal reducida ( $f \approx 0.5$ ). La superficie espejada se lograba con un recubrimiento de rubidio, mucho más resistente que las normalmente usadas coberturas de aluminio, con lo que la reflectividad es recuperada con solo una limpieza del espejo. Como la técnica de muestreo desarrollada por Jelley no requería de óptica muy precisa, estos searchlights eran perfectos para la tarea y fueron utilizados durante décadas por varios experimentos.

El comienzo de la historia que establecería definitivamente a la técnica Cherenkov en aire como útil para el desarrollo de la astronomía gamma con telescopios en tierra debe ubicarse en la figura de Trevor C. Weekes. Desde mediados de los años sesenta, aquel discípulo de los pioneros Jelley y Porter se estableció en Tucson, Arizona, EUA, para comenzar los experimentos con los ya por entonces afamados searchlights, en este caso los del ejército de EUA. Durante el

invierno boreal de 1967-68, Trevor Weekes, junto a Giovanni G. Fazio y otros, llevó adelante las observaciones que dieran lugar a una publicación con cotas máximas de trece objetos astronómicos (Fazio et al., 1968), incluyendo a Crab. Estas observaciones fueron realizadas con dos searchlights, lo cual se aprecia en la foto de la Figura 13, obtenida de la reciente publicación presentada en la reunión de Heidelberg 2008, por el propio protagonista (Weekes, 2008).



Figura 13 Primer sistema Cherenkov en aire utilizado en EUA durante el invierno boreal 1967-68. Las observaciones realizadas desde las cercanías de lo que en la actualidad es el “*basecamp*” del Whipple Observatory permitieron cotas máximas de trece objetos. Foto tomada de Weekes (2008), con permiso del autor.

En 1968 se construye el reflector de 10 m en el Observatorio Fred Lawrence Whipple, en un pico del monte Hopkins a 2320 m de altitud, cuya búsqueda implicó también la exploración en burro, según solía contar Weekes. Al igual que se hacía con los searchlights, este telescopio, que fuera un diseño de concentrador para energía solar, tenía un solo fotomultiplicador (PMT) en su foco (un PMT de 20 cm;  $\sim 1.5^\circ$  de campo visual). Con ese instrumento y después de tres años de seguimiento de Crab, se reporta en 1972 una detección marginal de 3 sigmas de significancia. Con este resultado se ponía crudamente de manifiesto el problema principal de estos sistemas, el de la poca discriminación del fondo. Para astronomía gamma en general, el fondo lo constituyen los eventos causados por rayos cósmicos, mucho más abundantes que los rayos gamma, aún para una fuente intensa como Crab. El desarrollo de la técnica continuó con una cámara de 37 PMT, que llamaron Cámara de Alta Resolución, nombre que suena irrisorio cuando se compara con las cámaras actuales de miles de PMT. Con esa cámara se desarrolló la llamada “técnica de imágenes” para discriminar el fondo, con la que se pudo obtener 5 sigmas sobre Crab, pero como los criterios de selección de eventos fueron hechos sobre los mismos datos, la significancia de esa detección no se tomó como definitiva. Se establecieron entonces criterios a priori con los cuales, finalmente en 1989, se reportó una significancia acumulada de 9.5 sigmas, estableciendo a Crab como la primer fuente detectada en el rango de los TeV (Weekes et al., 1989). Este fue no solo el inicio de la astronomía gamma del TeV sino el establecimiento de la por entonces cuestionada “técnica de imágenes”, utilizada aún hoy para discriminar eventos gamma de los producidos por rayos cósmicos en la atmósfera.

Con el éxito del 10 m y Crab establecida como fuente estable, un paso lógico para el pionero Weekes era expandir fronteras hacia los cielos del sur y así poder ver la parte más rica de nuestra galaxia. El hemisferio sur no estaba muy desarrollado en este tema, salvo por los emprendimientos realizados en Australia

y el comienzo de lo que hoy es la Colaboración Cangaroo, entre australianos y japoneses. Para 1988, Weekes (director del Grupo de Radiación Gamma del Observatorio Fred Lawrence Whipple de Arizona) se pone en contacto con Jorge Sahade (por entonces presidente de la Unión Astronómica Internacional) y Hugo Levato (director del CASLEO) para viajar a Argentina, lo cual sucede a finales de 1988. Visitan el CASLEO y organizan una reunión en el Observatorio de La Plata con potenciales estudiantes interesados en el tema de astronomía de altas energías. En esa reunión había seis estudiantes, cuatro de astronomía de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), de cuyos nombres no hay registro, y dos de física de la UBA, Eduardo H. Colombo y Adrián Rovero. El plan que les propusieron fue el de intercambiar alumnos de doctorado para establecer un grupo de astronomía gamma del TeV en Argentina. Años después, Weekes confirmó a Rovero lo que ahora parece obvio era la intención de los gestores de estos eventos, que si la idea de cooperación prosperaba el paso siguiente sería la instalación de telescopios gamma en nuestro país. Eduardo Colombo fue el primero en obtener una beca del Harvard-Smithsonian, CfA, en 1989 por un año, bajo la dirección de Weekes. Eduardo, famoso entre los estudiantes del campus de la Universidad de Arizona por su afición a los partidos de fútbol (*soccer*) organizados en el Mall central, volvió a Tucson en varias oportunidades antes de doctorarse en la UBA en 1996. El segundo, y último, fue Adrián Rovero, con idéntica beca entre 1991 y 1994, para doctorarse en la UBA en 1995. Ambas tesis bajo la dirección de Weekes.

El marco de este plan fue dado después de comenzado el intercambio de estudiantes, con un convenio de cooperación NSF-CONICET (Res. CONICET 1244/91) para el estudio del Centro Galáctico desde el Hemisferio Sur. La concreción de este convenio fue posible gracias a las gestiones entre Weekes, Sahade y Levato, este último aprovechando sus viajes regulares al NRAO (National Radio Astronomy Observatory) en Tucson para conversar con el primero sobre los detalles del proyecto en el que CASLEO jugaba un papel muy importante. Con esto, se obtuvo del CONICET u\$s 9 300 y de la NSF lo necesario para equipamiento a ser enviado a Argentina para la construcción de un sistema prototipo con cuatro telescopios de primera generación. En otras palabras, cuatro searchlights en coincidencia. A los ya mencionados estudiantes, se incorporó el estudiante de ingeniería de la Universidad de Arizona, Kevin Harris, quien se desempeñaba en el Observatorio Whipple como técnico.

Para el año 1990, Colombo ya había alivianado de partes no utilizables a los cuatro searchlights a ser enviados al CASLEO. Harris había desarrollado y comenzado a construir una nueva interfase electrónica para la adquisición de datos con una PC. El envío del equipamiento por parte del Whipple comenzó durante el año 1992 con pruebas realizadas previamente por Harris y Rovero en el Observatorio de Arizona. Además de los componentes electrónicos necesarios para el experimento, seleccionar el instrumental a enviar fue algo divertido para Rovero, un técnico electricista y licenciado en física convenciendo al maestro Weekes de que dos osciloscopios de vieja generación iban a ser más que bienvenidos y que un multímetro portátil no podía faltar, entre otras cosas. Rovero no iba a estar presente para el embalaje del equipamiento en diciembre de 1992, por lo que su última tarea fue la de verificar que los cuatro searchlights entraran en el contenedor. Colombo sí estaba presente, por una de sus estadías cortas de re-

greso al Whipple, por lo que él participó del embalaje de los cuatro searchlights, como lo atestigua la foto en la Figura 14.

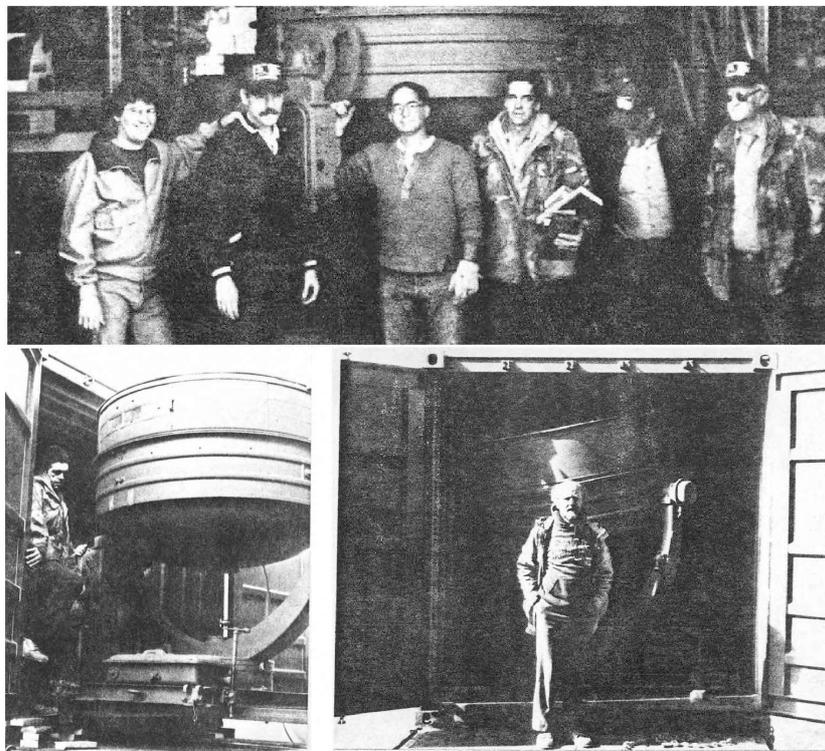


Figura 14 Embalaje de los searchlights en el Basecamp del Observatorio Whipple, Arizona, diciembre de 1992. *Arriba:* De izquierda a derecha: Kevin Harris, Eduardo Colombo, Mark Calaluca, Dave Martínez, Myron Clark y Don Hogan. *Abajo izquierda:* Cargando el contenedor. *Abajo derecha:* Trevor Weekes al finalizar el trabajo.

Se puede imaginar el pensamiento de Trevor Weekes en la foto de la figura después de cargar el tercer y último searchlight en el contenedor. Efectivamente, Rovero cometió el error de confiar en su intuición de técnico más que en la cinta métrica y nadie más fue enviado a verificar lo que se había medido. Con todo, solo entraron tres y el proyecto pasó *ipso facto* a ser de tres y no cuatro searchlights.

Después de algunos meses de tránsito por mar y tierra, y gracias a las gestiones aduaneras de Hugo Levato que venía haciendo el seguimiento del envío, el equipamiento llegó a Barreal, San Juan. El arribo a San Juan no pasó inadvertido, como puede verse en la Figura 15. La edición del 11 de abril de 1993 del Diario de Cuyo publicaba en página 15, sección Actualidad, los misterios de los rayos gamma que los científicos de El Leoncito intentarían develar, juntamente con notas sobre el Proyecto Gemini, la foto del telescopio Whipple de 10 m de abertura y un par de avisos sobre desinfecciones y reintegros por la helada y el granizo que habían afectado los viñedos el año anterior.



Con la incorporación de los tres telescopios de rayos Gamma, el CASLEO liderará el trabajo investigativo en el Hemisferio Sur por cuanto a partir de este auspicioso hecho, producto del convenio entre el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de la Argentina y la National Science Foundation de los Estados Unidos, ese centro de estudios astronómicos realizará una tarea inédita en esta parte del planeta. A partir de la instalación del moderno instrumental, los científicos de El Leoncito realizarán un "survey" (búsqueda) de objetos probables emisores de rayos Gamma para detectarlos en el espacio del Hemisferio Sur. Y cuando ello ocurra, el paso final del proyecto contempla la instalación de un telescopio de siete metros de diámetro lo que se concretará dentro de tres años.

De manera que concluido el "patrullaje" en ese trienio, con el telescopio de 7 metros se podrá "apuntar" a esa fuente de alta energía para estudiarla hasta en sus mínimos detalles.

Los tres telescopios serán instalados en un triángulo, cada uno de los cuales estará ubicado en cada vértice. Un dato relevante es que una vez emplazados, son "apuntados" hacia un lugar quedando fijos en esa dirección, por lo que, debido a la rotación de la tierra, serán los objetos los que irán pasando delante de los aparatos, los cuales irán registrando todos las imágenes.

Figura 15 Edición del 11 de abril de 1993 del Diario de Cuyo reflejando en la página 15 la llegada de los searchlights a San Juan y una ampliación de la nota "El CASLEO, singular atracción científica en el Hemisferio Sur".

La construcción del sistema comenzó a principios de diciembre de 1993, momento en que se conjugaron los esfuerzos de gran parte del personal del CASLEO, particularmente de José Luis Aballay quien estuvo "asignado" al proyecto, de Eduardo Colombo que estaba en el país y de Adrián Rovero, quien viajó desde Tucson para tal fin, trayendo consigo un baúl con la electrónica que no había sido embalada en el contenedor. Las simulaciones realizadas por dos miembros de la colaboración Whipple de entonces, Glenn Sembroski y Mary Kertzman, determinaron que la distancia adecuada entre searchlights era de 20 m, por lo que las bases ya habían sido construidas en triángulo equilátero de esa distancia. El gran campo visual de los detectores, 2.7°, permitió que no fuera necesario un alineamiento muy preciso de los espejos, por lo que se lo hizo utilizando la gravedad terrestre, esto es, con un nivel de albañilería (ver Figura 16).

Algo parecido sucedía con el ajuste de las escalas acimutal y de elevación, lo cual realizábamos apuntando el searchlight a la posición de una estrella brillante unos minutos antes de su pasaje y esperando ver la imagen en el foco a la hora



Figura 16 Primera etapa de instalación de GAMAR-1, diciembre de 1993. *Arriba izquierda:* José Luis Aballay (parado) y Adrián Rovero nivelando el espejo de uno de los searchlights. *Arriba derecha:* Escena de la “vida cotidiana” de esos días. De izquierda a derecha: Carlos Domínguez, José Luis Aballay, Rubén Domínguez y Eduardo Colombo. La casa rodante fue la primer sala de control. *Abajo:* Sistema instalado a fines de 1993.

prevista. Esta tarea implicaba colocar un papel blanco en el foco y esperar a ver el punto brillante de la imagen, lo cual no siempre era sencillo ya que, dependiendo de la posición de la estrella, había que ejercer acciones contorsionistas subidos a una escalera en total oscuridad, por lo que no era infrecuente que, finalizada la última verificación, cayéramos dentro del telescopio al intento de escape de la situación, desalineando todas las escalas antes de fijarlas.

Durante el período de construcción recibimos la primer visita oficial, hecho plasmado en la foto de la Figura 17. La Comisión Asesora de Seguimiento y Apoyo a Unidades Funcionales (CASAUF) que nos visitó estaba integrada por (de izquierda a derecha en la foto) Horacio Ghielmetti (director del IAFE), Esteban Bajaja (IAR) y Gustavo Carranza (OAC), además del director del CAS-LEO, Hugo Levato. En la foto se aprecian las pantorrillas de Eduardo detrás del searchlight, explicándole a la comitiva detalles del aparato.

El sistema quedó funcionando provisoriamente en diciembre de 1993, sin la parte electrónica para adquisición automática de los datos. En marzo del año siguiente, Harris viajó a Argentina y junto con Colombo terminaron de instalar el sistema definitivo (ver Figura 18), lo cual incluía una PC muy elemental (XT) con el programa de adquisición y la nueva interfase que Harris acababa de terminar de construir.

Para el año 1995, y después de varias pruebas anteriores, el sistema estaba listo para comenzar a operar. Eduardo tenía una posición en la CONAE y no



Figura 17 Primera visita oficial por parte de la Comisión Asesora de Seguimiento y Apoyo a Unidades Funcionales (CASAUF). De izquierda a derecha: Horacio Ghielmetti, Esteban Bajaja, Gustavo Carranza, Hugo Levato y Eduardo Colombo (detrás del searchlight).

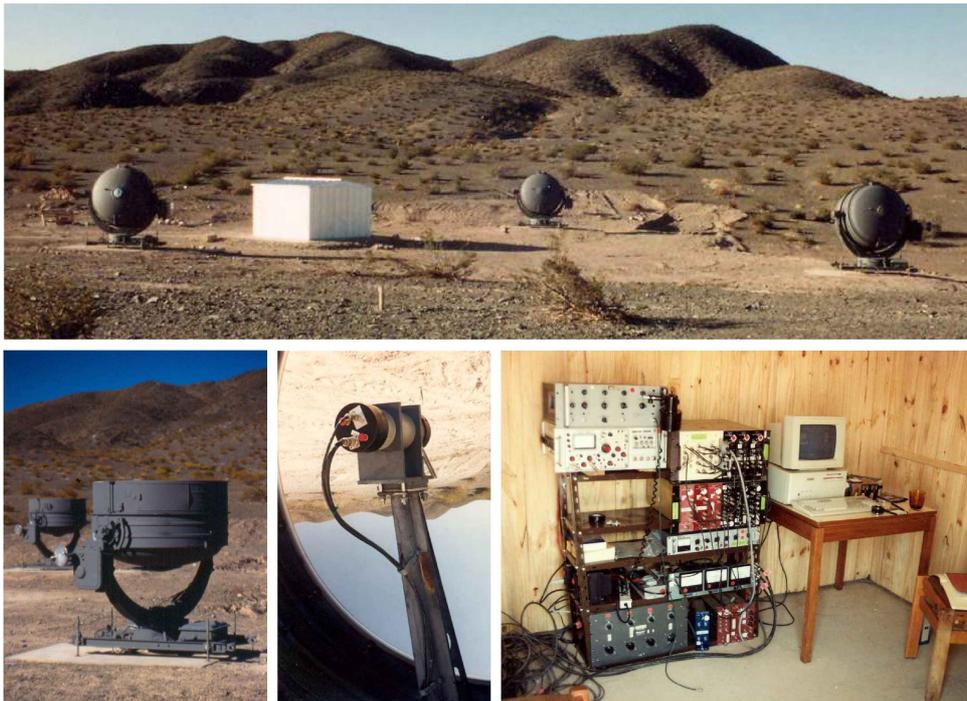


Figura 18 Sistema GAMAR-1 terminado, marzo de 1994. *Arriba:* Vista general en posición de reposo. *Abajo izquierda:* En posición normal de operación. *Abajo centro:* Habitación del detector (fotomultiplicadora) y espejo. *Abajo derecha:* Sala de control con sistema de *trigger* y adquisición.

disponía de tiempo para este proyecto, que dimos en llamar GAMAR-1 (GAMMA ARGENTINA, etapa 1), así que este autor era el único para llevar adelante la programación de las operaciones y el análisis de datos. El subsidio otorgado por CONICET a Sahade y Levato permitió solventar viajes regulares durante el pasaje del Centro Galáctico. Una semana por mes entre mayo y agosto de 1995 y 1996 Rovero realizó viajes al CASLEO para control y operación del sistema y traslado de datos para analizar en el IAFE. Para la operación regular de GAMAR-1 jugaron un papel preponderante los operadores e ingenieros de CASLEO, quienes durante esas dos temporadas siguieron la rutina de encendido, apagado y almacenamiento de datos en forma destacada. Los searchlights eran posicionados a  $2^\circ$  del cenit esperando el pasaje del Centro Galáctico (modo drift-scan). Debían controlarse los conteos individuales para verificar el normal funcionamiento, y comenzar la toma de datos hasta el final de la noche. La operación del sistema no era muy divertida ya que lo único que se podía hacer era monitorear los conteos (ver Figura 19) durante noches interminables en las que aparecía algún visitante eventual muy rara vez, incluyendo a Jorge Sahade en una oportunidad, quien acompañó a Rovero estoicamente durante horas.

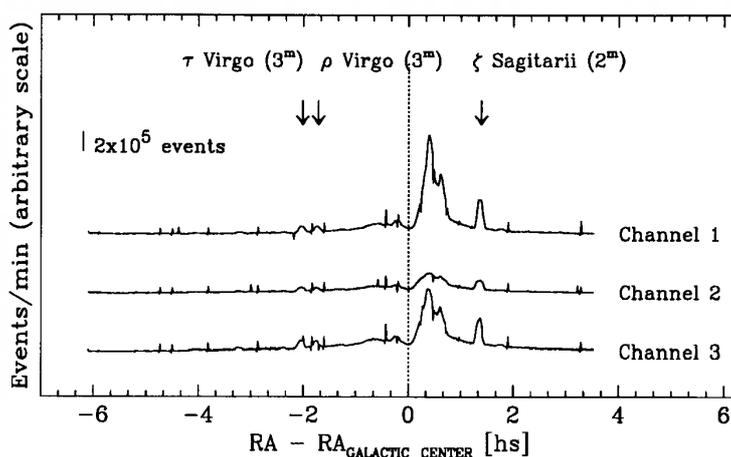


Figura 19 Conteo de cada searchlight en una noche de observación del Centro Galáctico (26 de mayo de 1997). Se observa cómo los conteos se incrementan con el pasaje de estrellas brillantes (Rovero et al., 1997).

Los resultados finales después de dos temporadas de observación debieron ser presentados en la reunión más importante del área de rayos cósmicos, la ICRC (International Cosmic Ray Conference) de 1997, en Sudáfrica. Sin embargo, los fondos del subsidio estaban agotados, sin posibilidad de renovación, y nuestros colegas del Whipple que asistían a la reunión ya tenían su cuota de presentaciones cubierta, con lo que los resultados fueron presentados en un encuentro de menor envergadura, inmediatamente posterior (Rovero et al., 1997). La Figura 20 muestra el resultado obtenido y presentado en la reunión. Como se esperaba, obtuvimos una cota al flujo del Centro Galáctico que, una década después, fue medido por HESS (Aharonian et al., 2004) en un orden de magnitud menor.

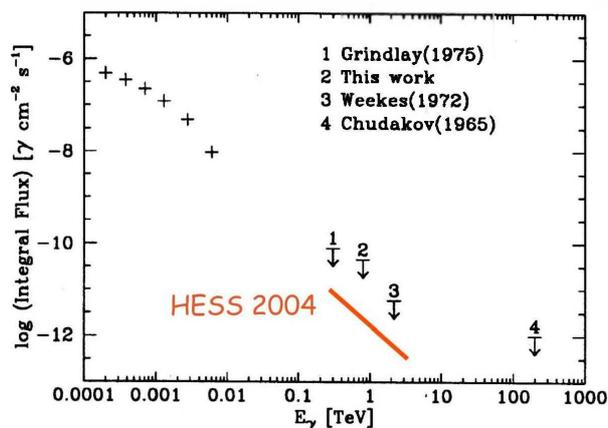


Figura 20 Primeras observaciones publicadas en astronomía gamma del TeV con instrumental desde Argentina (Rovero et al., 1997); las cruces son datos de EGRET y las flechas cotas máximas. Una década después, el Observatorio HESS logró la sensibilidad suficiente para medir el espectro.

En el tiempo que GAMAR-1 probaba su objetivo, la segunda etapa estaba en marcha. GAMAR-2 consistía en colocar en uno de los searchlights un fotomultiplicador multiánodo, esto es, una cámara de  $8 \times 8$  detectores, a semejanza de los grandes telescopios Cherenkov que ya funcionaban en varias partes del mundo. Para ello Rovero había viajado a Torino, Italia, en ocasión de una reunión sobre estrellas Wolf Rayet a fines de 1994, a visitar a sus colegas Gianni Navarra y Carlo Morello que operaban un sistema similar (EAS-TOP) en el Laboratorio Gran Sasso, Italia. Además, Trevor Weekes había obtenido un subsidio del Smithsonian (Scholarly Studies Grant, 1994-95) de u\$s 22 000 para el desarrollo de electrónica de bajo costo, basada en 8 canales multiplexados. La electrónica era innovadora ya que se planteaba enviar 8 señales por cada canal del equipamiento, lo cual reducía el costo en un orden de magnitud. El desarrollo fue realizado por el grupo irlandés de la colaboración durante 1995-96, a cargo de Michael Cowley, y el prototipo se construyó y se probó en el Whipple (ver figura 21). La instalación en el CASLEO estaba planeada para 1997, pero para ese entonces el desfinanciamiento local del grupo era total. Colombo seguía sin posibilidades de participar desde la CONAE y Rovero, además de pasar por un problema familiar muy serio, peleaba por entrar a la Carrera del Investigador del CONICET cuyos ingresos se habían reabierto con reglas cambiadas después de muchos años de permanecer cerrados. En Argentina, GAMAR-2 estuvo sentenciado a muerte antes de nacer y con él todos los planes de instalación de telescopios de mayor envergadura.

Fueron nueve años de ideas, desarrollos, viajes, construcciones, toma de datos, análisis y, sobre todo, grandes ilusiones y posibilidades perdidas entre 1988

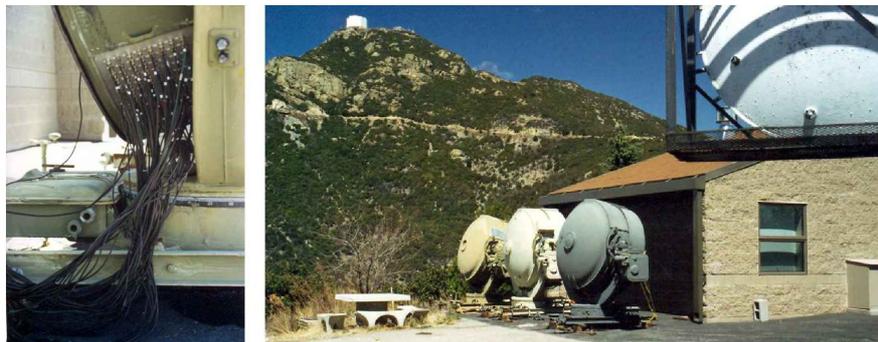


Figura 21 Prototipo para la segunda etapa, GAMAR-2, comenzada en el Observatorio Whipple, Arizona. *Izquierda:* Salida de los 64 canales de señal del fotomultiplicador multiánodo. *Derecha:* Los tres searchlights utilizados para el prototipo, al lado del cuarto de control del telescopio de 10 m. Se observa en el pico de la montaña al “Multi-mirror Telescope”.

y 1997. Como resultado hubo dos tesis doctorales, Adrián Rovero<sup>2</sup> en 1995 y Eduardo Colombo en 1996, constituyéndose así en las primeras tesis en astronomía gamma presentadas y defendidas en una universidad argentina (UBA). Hubo, además, una presentación a la Reunión de la Asociación Argentina de Astronomía (AAA) (Rovero et al., 1996) y la mencionada publicación en las memorias de una reunión internacional del área (de la serie “Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector”) en 1997. Científicamente se obtuvo lo que se esperaba de un sistema tan básico cuyo principal objetivo era desarrollar grupos y sitios en el país. Sin dudas el esfuerzo no se correspondió con los limitados resultados, pero se dejó una semilla que tal vez germine un par de décadas más tarde.

## 7. Astronomía Gamma Teórica: desde 1995

Entender los procesos presentes en las fuentes emisoras y buscar nuevas explicaciones a las observaciones realizadas por instrumentos cada vez más sensibles es, sin dudas, una tarea que necesita de teoría. El desarrollo de grupos teóricos es necesario en cualquier comunidad que quiera desarrollar un tema científico y la astronomía gamma en Argentina no es una excepción.

Hacia 1982 las observaciones del satélite COS-B (1975-1982) habían permitido publicar un catálogo con 25 fuentes gamma (en el rango 0.3 – 5 GeV). Si bien este catálogo fue muy importante en su momento, la verdadera revolución en astronomía gamma del MeV-GeV fue realizada por los instrumentos a bordo del Compton Gamma Ray Observatory (CGRO) (1991-2000), que publicaría su

<sup>2</sup>Premio 1997 a la mejor Tesis Doctoral en el área de Ciencias Físicas. FCEyN, UBA, 14 de mayo de 1998. Otorgado por Fundación Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

primer catálogo a fines de 1994. Años antes de esta publicación ya trascendía que habían sido detectadas una variedad de objetos galácticos y extragalácticos.

La revolución que causó el CGRO motivó muchos estudios teóricos de distinta índole. En particular, los mecanismos de emisión gamma por Compton inverso de los fotones sincrotrón producidos por partículas cargadas relativistas, o modelos SSC (Synchrotron Self Compton), estaban en su apogeo. Este modelo se nutre de las observaciones sincrotrón por parte de esas partículas relativistas, muchas veces en el rango de radio, lo cual motivó a Gustavo E. Romero y Jorge A. Combi a estudiar este tema. Desde 1992, en el Instituto Argentino de Radioastronomía (IAR), Romero estudiaba la emisión en radio de los blazares y Combi de fuentes galácticas, cuando se propusieron abordar el tema de la emisión gamma. En 1995 publicaron el primer trabajo en astronomía gamma teórica de un grupo argentino (Combi & Romero, 1995), sobre un estudio de una nube molecular y el espectro de electrones NT que explican la emisión gamma reportada por COS-B sobre la región de Ara, para lo cual utilizaron datos de radio tomados con los radiotelescopios del IAR. En el año 2000, y habiéndose ya incrementado el grupo en varios integrantes, formaron el Grupo de Astrofísica Relativista y Radio-Astronomía (GARRA), incluyendo otros objetos de estudio, como microcuasares, blazares, remanentes de supernova y fuentes con eyecciones relativistas de masa (jets). En 2004 Marina Kaufman, del seno de este grupo, defiende en la UBA la primer tesis doctoral teórica en el país completamente dedicada a astronomía gamma<sup>3</sup>. El grupo ha publicado más de 200 trabajos con referato, con algunos casos destacados, como la reciente predicción sobre la emisión gamma producida por hadrones en el microcuasar LSI 61+303 (Romero et al., 2005). Durante al año siguiente la colaboración MAGIC observó y detectó a este objeto con su telescopio Cherenkov de 17m en Canarias. La detección fue publicada en Science (Albert et al., 2006) a la cual Romero fue invitado a participar como autor externo. La interacción del grupo con la comunidad internacional realza el hecho de ser el único grupo en Sudamérica dedicado al modelado de la emisión gamma de altas energías.

Sin dudas el impacto que este grupo ha tenido en la comunidad astronómica argentina es tal que ha generado un espacio propio para la astronomía de altas energías. Desde la cátedra de Astrofísica Relativista creada en la UNLP en 2005, hasta el lugar abierto en las Reuniones Anuales de la AAA, pasando por la formación de estudiantes de todos los niveles, este grupo está haciendo historia en la astronomía de altas energías en Argentina.

## 8. Astronomía de partículas: desde 1995

La astronomía de partículas fue solo una posibilidad hasta diciembre de 2007 cuando la Colaboración Auger publicó uno de los resultados más importantes desde el descubrimiento de los rayos cósmicos en 1912, la anisotropía de las direcciones de arribo de los rayos cósmicos de mayor energía (Auger Collaboration, 2007). Muchos años antes, en 1992, tres pioneros, Alan A. Watson

---

<sup>3</sup>Premio Giambigi 2005 a la mejor Tesis Doctoral en Física teórica, Departamento de Física, FCEyN, UBA.

(el experto en astropartículas, Universidad de Leeds), James W. Cronin (particulista de la Universidad de Chicago, premio Nobel de Física 1980) y Murat Boratav (particulista, Universidad de París), acordaban emprender el camino hacia la construcción del detector gigante de rayos cósmicos (Giant Array Project, GAP), finalmente bautizado Pierre Auger en honor al descubridor de las cascadas atmosféricas de partículas<sup>4</sup>.

El descubrimiento de las cascadas atmosféricas extendidas por parte de Pierre Auger en 1938 (Auger et al., 1939) abrió el camino para la instalación de arreglos de detectores de partículas que permitieran entender el por qué de tanta energía en un solo evento. Auger había calculado que sus eventos eran causados por partículas de hasta  $10^{15}$  eV, una de cuyas consecuencias, dice en sus conclusiones, es que

*... es realmente imposible imaginar un proceso único que sea capaz de imprimirle a una partícula tal energía (traducción del autor).*

Es interesante notar que Nagano & Watson (2000), en su revisión de este tema, atribuyen el descubrimiento de Auger al mejoramiento en los circuitos electrónicos desarrollados por Roland Maze (1938), que posibilitó resolver coincidencias provenientes de los detectores de partículas (los conocidos contadores Geiger-Müller) con tiempos de  $5 \mu\text{s}$ . A partir de este descubrimiento, se dieron una serie de experimentos que fueron extendiendo el espectro conocido de los rayos cósmicos hacia las altas energías en varios órdenes de magnitud. Este espectro sigue una ley de potencias con la energía, de índice espectral  $\sim -3$  ( $F \propto E^{-3}$ ) haciendo que el flujo de rayos cósmicos llegue a valores muy bajos, de un rayo cósmico por  $\text{km}^2$  por siglo, aproximadamente, para energías de  $10^{20}$  eV. Este hecho hace que el estudio de los rayos cósmicos a estas energías sea muy difícil, más aún con los detectores utilizados en los comienzos, de baja área de colección. Cuando al principio de la década de 1960 se pensaba que el espectro se extendería hasta energías de  $10^{21}$  eV, John Linsley (1963) con su experimento en Volcano Ranch (EUA) detecta el primer evento con energía mayor que  $10^{20}$  eV. El descubrimiento de la radiación cósmica de fondo de 2.7 K en 1965, planteó inmediatamente el problema de la atenuación de la energía de los rayos cósmicos en su travesía por el espacio debida a la interacción con este campo. Consecuentemente, se predijo una disminución en el flujo de rayos cósmicos para energías del orden de los  $5 \times 10^{19}$  eV que, a todos los efectos prácticos, es un corte en el espectro conocido como corte GZK (por sus autores: Greisen, Zatsepin y Kuz'min). Con este resultado, el espectro de rayos cósmicos no podría extenderse más allá de ese valor salvo que su origen sea cosmológicamente muy cercano, menor a  $\sim 100$  Mpc, dependiendo de la naturaleza de la partícula. A partir del experimento en Volcano Ranch, hubo varios otros que reportaron eventos con energías superiores al corte GZK, siendo los más importantes, por su aceptación, AGASA (Japón) y HiRes (EUA). Hacia 1990 existían una veintena de este tipo de eventos, las áreas de colección de los instrumentos en funcionamiento eran aún pequeñas como para resolver con buena estadística el espectro más allá del corte GZK y, para agravar la situación, había una discrepancia en los resultados en cuanto a la existencia misma del corte en el espectro. Efectivamente, además

---

<sup>4</sup>Se puede encontrar información en la página del Observatorio Pierre Auger: [www.auger.org](http://www.auger.org)

de existir un corrimiento en el espectro presumiblemente debido a diferencias en la calibración de energías, AGASA no veía el corte GZK que la colaboración de HiRes aseguraba que existía. La posibilidad de que no existiera este corte dio lugar a un sinnúmero de especulaciones teóricas para explicar la aparente violación de los mecanismos de atenuación de los rayos cósmicos más energéticos. Dada esta situación, se planteaba una única solución posible, mejorar la estadística de detección de eventos y mejorar la determinación de energías. Para ello, y dados los bajísimos flujos de rayos cósmicos a estas energías, los impulsores de la idea tenían algo bien claro, el tamaño del detector debía ser órdenes de magnitud mayor que los hasta entonces conocidos, de algunos miles de km<sup>2</sup>, para no tener la necesidad de esperar siglos para mejorar el número de eventos detectados más allá del por entonces supuesto corte GZK.

Los primeros eventos ocurridos en Argentina fueron hacia finales de 1994. Durante la Reunión Anual de la Asociación Física Argentina de ese año en Villa Giardino, Córdoba, Luis Másperi (CAB-CNEA) le comenta a Alberto Etchegoyen (Tandar-CNEA) sobre las ideas del GAP de James Cronin, quien había sido invitado al “*VI Argentine Symposium of Theoretical Physics on Particles and Fields*”, que estaba siendo organizado en el Centro Atómico Bariloche, entre el 9 y el 20 de enero de 1995. Independientemente, Alberto Filevich (Tandar-CNEA) también se entera de la participación de Cronin en el citado simposio y de sus ideas sobre la construcción del observatorio de rayos cósmicos. Enterados ambos de lo que se estaba gestando, y en un encuentro casual en la cafetería, deciden que Filevich le envíe un correo electrónico a Cronin invitándolo a dar una charla en el Laboratorio Tandar. Cronin acepta inmediatamente y acuerdan que la charla se realice el 6 de enero de 1995, aprovechando su paso por Buenos Aires, camino a Bariloche. A pesar de que el Tandar estaba en receso por vacaciones, la charla se realizó a sala llena el día programado. Durante la exposición, Cronin comenta sobre las ideas de construcción del GAP y de la necesidad de buscar un sitio que reúna varias características, que serían definidas en un taller que se estaba organizando para los primeros meses de 1995. Desde ese momento Etchegoyen y Filevich organizarán la iniciativa argentina para el GAP, en cuyos inicios también colaboraron Luis Másperi y Raúl Colomb (CONAE).

La Colaboración Pierre Auger se fue formando en sucesivas reuniones internacionales, en París (1992), Adelaide (1993) y Tokyo (1993), consolidada finalmente durante un taller realizado en el Fermilab en 1995 para confeccionar la base del diseño del Proyecto, o “*Design Report*” (Auger Collaboration, 1997). Este taller fue en realidad una serie de encuentros que duró seis meses, entre enero y julio de 1995, durante los cuales los asistentes mostraban los resultados de las tareas que realizaban en sus instituciones de origen. En esa época ya se estaban buscando sitios candidatos para los observatorios norte y sur, con lo que Argentina recibió la visita del grupo oficial buscador de sitios, integrado por Antoine Letessier-Selvon (Francia) y Kenneth Gibbs (EUA), con su telescopio portátil con el que realizaban mediciones de opacidad atmosférica por fotometría de estrellas brillantes. En las pocas veces que vinieron a nuestro país, ellos visitaron algunos sitios selectos sobre una lista de candidatos previamente explorados por el grupo local (ver sección 8.1.). En septiembre de 1995 comienza a gestarse la Colaboración Argentina, con la realización de la primer reunión en el país con el proyecto Auger como tema central, en Bariloche, en superposición parcial con la Reunión Anual de la Asociación Física Argentina, que tuvo lugar

el 6 y 7 de octubre de 1995. A este taller asisten Alan Watson y James Cronin, más varios representantes brasileños que comenzaban a interesarse, entre los que se encontraban Ronald C. Schellard (Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas) y Carlos Escobar (Universidad de San Pablo). Entre las actividades se organizó una visita al Centro Atómico Bariloche y a la planta de enriquecimiento de uranio, en Pilcaniyeu. Las fotos de la Figura 22 dan muestra del primero de esos eventos, no existiendo documento fotográfico del segundo por esgrimidas razones de seguridad.



Figura 22 Visita al Centro Atómico Bariloche, septiembre de 1995. *Izquierda:* En un laboratorio del Centro. De izquierda a derecha en primera línea: Beatriz García, James Cronin, Héctor Rubinstein y Victor Ponce. *Derecha:* En el campus. De izquierda a derecha en primera línea: Victor Ponce, Alan Watson, Anibal Gattone, Alberto Etchegoyen, Carlos Balseiro.

Ese mismo año 1995, del 20 al 22 de noviembre, la colaboración internacional tuvo su reunión en la sede de la UNESCO en París, en donde se eligió a Argentina como sitio sur, en competencia con los sitios propuestos por Australia y Sudáfrica. Las fotos de la Figura 23 atestiguan ese momento, particularmente el del escrutinio. En esa reunión la delegación Argentina presentó un resumen de las características de los diversos sitios posibles explorados hasta el momento en la Argentina y se le encargó a la colaboración argentina realizar estudios detallados y recomendar el sitio final para el observatorio.

En esos años, se discutía en nuestro país el tipo de participación que era preferible encarar frente a este proyecto. Si bien Argentina ha tenido un lugar destacado en Latino América en ciencia y técnica, al inicio del Proyecto Auger no existía historia previa de grupos de científicos y técnicos que se involucraran en las facetas de diseño, construcción, prueba de prototipos y gerenciamiento de grandes emprendimientos científicos, incluyendo la producción a escala industrial de sistemas de detección. Este fue, sin embargo, el camino que se decidió emprender y no el de delegar estas responsabilidades, lo cual significó un derrotero difícil y no sin frustraciones. En retrospectiva y haciendo un balance, la experiencia ha sido por demás positiva, significando para Argentina el establecimiento de grupos lo suficientemente desarrollados en todos estos aspectos que la ubican en una posición ventajosa para recibir nuevos emprendimientos, inclu-

yendo una de las mejoras de la segunda etapa de construcción del Observatorio Auger.



Figura 23 Reunión en París, noviembre de 1995. *Izquierda:* Durante la recolección de votos en donde Argentina salió elegida para el Observatorio Sur. Sentados en primera fila, desde la derecha: Luis Másperi, Alberto Etchegoyen y Alberto Filevich. *Derecha:* Alberto Etchegoyen y Raúl Colomb durante un descanso.

La primer reunión de la Colaboración Argentina se realizó en el Departamento de Física de la UNLP, el 28 y 29 de marzo de 1996. Allí se consolidaron las bases de lo que evolucionó en grupos de trabajo en muchas de las áreas que involucraban el proyecto. Se estableció también un comité organizador de la primera reunión internacional de la Colaboración Auger en nuestro país, la cual se desarrolló en San Rafael (Mendoza), del 7 al 13 de septiembre de 1996 (ver Figura 24). En esa reunión se realizó la votación para elegir el sitio norte del observatorio, habiéndose presentado España, EUA y México con propuestas de sitios posibles y ganando EUA en segunda ronda contra México, solo por un voto.



Figura 24 Primer reunión internacional de la Colaboración Auger en Argentina, San Rafael, septiembre de 1996. Asistieron el gobernador de Mendoza, Arturo Lafalla, y el intendente de Malargüe, Celso Jaque, ambos en la primer fila.

Durante los años 1996 y 1997 se realizaron varios estudios sobre las condiciones de los sitios candidatos en Argentina. Fueron también años de mucha actividad política en donde no faltaron las presiones para inclinar la balanza hacia algún sitio en particular, presiones a las que la Colaboración Argentina hizo caso omiso, basándose en los estudios técnicos de los distintos lugares. A la larga, esta postura le dio sustento al Proyecto que permaneció a través de los distintos vaivenes a los cuales se vio afectado el país. En agosto de 1997 y después de muchas gestiones por parte de la colaboración local, James W. Cronin, vocero de la colaboración internacional de entonces, firma una carta de intención con el Secretario de Ciencia y Técnica, Juan Carlos Del Bello. Esta carta sirvió como punto de partida para las gestiones que permitirían obtener los fondos, particularmente los de la Nación, especificando:

*Que la presente carta de intención sirva como documento de trabajo para la elaboración de un documento final en febrero de 1998.*

Los estudios sobre transparencia atmosférica y las condiciones geológicas de los sitios que finalmente compitieron en nuestro país (ver sección 8.1.), permitieron que en 1998 se eligiera a El Nihuil (Malargüe) como sitio argentino para la construcción del Observatorio Sur del Proyecto Pierre Auger. Finalmente, con el devenir del nuevo gobierno nacional, en 1999 se estabilizaron las decisiones sobre el apoyo al proyecto y se comenzó la construcción del Arreglo de Ingeniería, para iniciarse en 2001 la construcción del Observatorio Sur según el diseño final. Hoy la Colaboración Auger está integrada por más de cuatrocientos investigadores y doctorandos de dieciséis países, organizados con una estructura (ver Rovero, 2006) tomada como ejemplo por otras colaboraciones científicas.

La historia a partir del inicio de la construcción del Observatorio en Malargüe y los detalles de lo acontecido desde 1995 en nuestro país son merecedores de una publicación dedicada que, sin dudas, podría ocupar cientos de páginas. El correr del tiempo hará que los personajes involucrados en dicha historia decanten su protagonismo y permitan develar detalles de lo acontecido. Será misión de las generaciones futuras de astrónomos la de convocar a un segundo Taller sobre Historia de la Astronomía Argentina, en el que los iniciadores de este gran proyecto en el país puedan completar la historia con abundancia de detalles.

En lo que sigue, se presenta una descripción de algunas historias que corrieron paralelas al desarrollo de la cronología general que se acaba de relatar. No se pretende ser equitativo en esas descripciones ya que la tremenda cantidad de trabajo realizado en los años previos al inicio de la construcción del Observatorio Auger escapan al alcance de esta publicación.

### **8.1. Búsqueda de sitios candidatos**

Desde que empezara a germinar la idea de que Argentina sea anfitrión del Proyecto Auger, la búsqueda de sitios fue una de las principales tareas, ya que de tener buenos sitios dependía en primera instancia que nuestro país fuera candidato Sur. El mapa de la Figura 25 muestra los sitios considerados, que debían estar entre 500 y 1500 m de altitud, tener una extensión plana de más de 3000 km<sup>2</sup>, ser poco escarpados y con vegetación baja para permitir las comunicaciones, además de tener buenos cielos.



Figura 25 Mapa de sitios explorados en Argentina en la búsqueda de candidatos para el Observatorio Auger (modificado de una presentación de Alberto Filevich). Los sitios marcados en verde fueron los preseleccionados en primera instancia y los azules en segunda instancia. El sitio finalmente seleccionado corresponde al número 5.

Por tener alguna cualidad sobresaliente entre las condiciones requeridas fueron preseleccionados tres sitios en primera instancia: Monte Comán (1), La Ahumada (2) y Laguna Blanca (3). Sin embargo, los tres fueron descartados por otras razones. La altitud de Monte Comán es de 450 m y fue juzgada como muy baja, además de tener una vegetación que hace complicado el acceso. La Ahumada tiene excelente terreno pero muy alejado de toda infraestructura, y Laguna Blanca tenía la mejor medición de transparencia de todos los cielos explorados, pero era de limitada extensión. En una segunda ronda se preseleccionó a la meseta de Somuncurá (4), en Río Negro, y El Nihuil (5), en Mendoza. El primero de ellos tenía varias características atractivas pero muy poca infraestructura y temperaturas medias muy bajas, mientras que El Nihuil reunía en conjunto lo mejor que se había explorado, razón por la cual fue elegido como sitio final en el año 1998 (Allekotte et al., 2002). Cabe señalar que esta selección fue realizada internamente, por la Colaboración Argentina, aunque varios grupos de la colaboración internacional participaron en los experimentos que le dieron sustento científico.

En este proceso de selección desde 1995 hasta 1998, se realizaron muchas expediciones exploratorias de varios tipos que dieron lugar a situaciones anecdóticas. La visita a un sitio particular de la época motivó la foto izquierda de la Figura 26, en donde los protagonistas no se resistieron a posar frente al cartel. Los sitios en la provincia de La Rioja fueron elegidos en primera instancia porque cumplían con las condiciones de altitud y superficie, pero fueron descartados (ver Figura 25) por el frecuente contenido de polvo presente en la atmósfera, producto de los vientos, la falta de humedad y lo poco compacto de los suelos. En la misma figura, a la derecha, otra curiosidad fotografiada durante un viaje al sitio



Figura 26 Algunas curiosidades durante el estudio de sitios candidatos. *Izquierda:* Alberto Filevich y Alberto Etchegoyen visitando un sitio muy particular de la época. *Derecha:* Fuente de polución atmosférica a unos 30 km del límite noreste del actual Observatorio Auger. La fábrica de cerámicas Grassi cerró su producción pocos años después.

del Nihuil, a decenas de kilómetros del límite noreste del actual Observatorio Auger. En las afueras de la población El Nihuil existía la fábrica de cerámicas Grassi cuya polución emanada de su chimenea causaba una real mala impresión a los científicos visitantes del sitio candidato. Si bien el humo era claramente visible desde mucha distancia, el temor de que esas emanaciones influyeran en la transparencia del aire del sitio eran infundadas, ya que los vientos prevaletentes no lo hubieran permitido. De todos modos, la política nacional de entonces se encargó del asunto y la fábrica de cerámicas Grassi, al igual que muchas otras en esa época, cerró su producción poco tiempo después.



Figura 27 Sistema instalado en Pampa Amarilla (El Nihuil) para la medición de atenuación horizontal (1996-97). *Izquierda:* Caseta con sistema detector. *Centro:* Instrumental dentro de la caseta. *Derecha:* Preparando mediciones de comparación de la lámpara estabilizada a 7.14 km del detector. En el horizonte se observa el Cerro Diamante.

También durante el período anterior a la elección final del sitio se realizaron varios experimentos para medir las condiciones de la atmósfera, particularmente en El Nihuil. La primera experiencia en ese sitio comenzó a gestarse en 1996 con

la idea de armar un experimento piloto para ser llevado a otros sitios candidatos en nuestro país. Se planeó y construyó un sistema con una lámpara estabilizada de luz y un telescopio de 15 cm con un tubo fotomultiplicador como fotómetro, para la determinación de coeficientes de extinción horizontal en las bandas de Johnson. El sistema detector estaba ubicado en una caseta construida a tal efecto en una estancia cercana a la ruta 40 (Figura 27); sus propietarios habían accedido gentilmente a que ocupáramos ese pequeño espacio cerca de la casa del puestero. La lámpara estabilizada estaba a más de 7 km hacia el este, comunicada por radio con la caseta.

Hubo más mediciones de este estilo realizadas durante la búsqueda de sitios en Argentina que serían imposibles de describir en su totalidad. Queda entonces este a modo de ejemplo.

## 8.2. Diseño de tanques de Auger

Durante el Taller de 6 meses desarrollado en Fermilab a principios de 1995, quedó en claro la necesidad de optimizar el diseño de los detectores de partículas individuales del arreglo, que en ese entonces se discutía si serían de Cherenkov en agua, como los de Haverah Park, o con centelladores, como los de AGASA. Poco tiempo después se implementó en el Laboratorio Tandár el primer prototipo a escala 1:1 con parámetros libres para poder responder a varias cuestiones que se planteaban entonces. La cantidad y ubicación de los tubos fotomultiplicadores era una de esas cuestiones, para lo cual este prototipo tenía brazos que permitían el movimiento radial y angular de los tubos. La altura del agua hiperpura utilizada se variaba con la utilización de un fondo falso del tanque, el cual permitía reducir la altura efectiva del agua en su interior. Todos los conteos realizados se controlaban con paletas centelladoras en coincidencia, ubicadas debajo del piso suspendido y por encima de la tapa. La experimentación con este prototipo de *detector Cherenkov en agua*, o simplemente “*tanque*”, permitió al grupo no solo la publicación de trabajos, el primero de los cuales fue en 1998 (Bauleo et al., 1998), sino posicionarse en la colaboración, generar recursos humanos e incentivar la búsqueda de proveedores que, a la postre, proveyeron al Observatorio un tercio de los tanques requeridos.

Poco más tarde se construyó también en Tandár un primer prototipo de *celda unidad* del Observatorio Auger, usando 3 tanques a escala 1:1 distantes  $\sim 250$  m entre sí, y un tanque más pequeño ubicado en el centro. Este emprendimiento, denominado TANGO (TANdar Ground Observatory) Array, permitió comprobar lo correcto de las ideas propuestas para el sistema de detectores de superficie y realizar por primera vez mediciones de intensidad en la región de la “rodilla” del espectro de rayos cósmicos en Buenos Aires.

## 8.3. El código AIRES de simulación de cascadas

La necesidad de disponer de una herramienta computacional adecuada para la simulación de cascadas atmosféricas producidas por rayos cósmicos ultraenergéticos se planteó desde los comienzos del Observatorio Pierre Auger. Un código eficaz no solo permite entender muchos de los problemas básicos de un observatorio como el planeado de entonces, sino que es necesario también para la calibración en energía de detectores de superficie como los conocidos a ese momento, del tipo de AGASA y Haverah Park. En la mencionada reunión de octubre de 1995

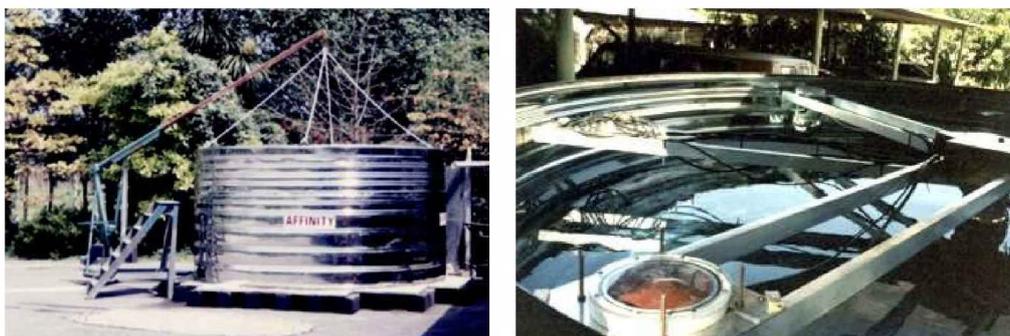


Figura 28 Tanque prototipo a escala completa desarrollado en el Laboratorio Tandar a partir de diciembre de 1995 (tomado de una presentación de Alberto Filevich). *Izquierda:* Vista exterior. Se aprecian la tapa removible y el piso suspendido para la ubicación de centelladores plásticos por debajo. *Derecha:* Vista del interior, con brazos para realizar cambios en la ubicación de los fotomultiplicadores.

en Bariloche, especialistas en simulaciones de Brasil y Argentina discutieron este tema en particular, planteándose la necesidad de disponer de esta herramienta computacional en el corto plazo. Por parte de Argentina se interesaron científicos del grupo de Física de Altas energías del Departamento de Física de la UNLP. Algunos de ellos ya tenían amplia experiencia en la realización de paquetes de *software* de similares características, por lo que decidieron comenzar a estudiar ese problema y de este modo agregarse a la lista de científicos que contribuirían al Proyecto Auger desde Argentina. Con posterioridad a la Primera Reunión de la Colaboración Auger Argentina, en marzo de 1996, se comenzó a pensar en la posibilidad de desarrollar un código nuevo, especialmente diseñado para satisfacer los requerimientos del Observatorio Auger. Así, en junio de 1996 comenzó el desarrollo del sistema AIREs (AIR shower Extended Simulations).

En una primera fase se tomaron como referencia algunos programas ya existentes, en particular el programa MOCCA desarrollado por Michael Hillas (Universidad de Leeds, UK) en los años 1970 para Haverah Park. Con posterioridad se incorporaron numerosos desarrollos propios, los que le otorgaron a AIREs independencia con respecto a otros códigos. Los primeros documentos que hacen referencia a AIREs fueron publicados como notas internas de la Colaboración Auger en 1997. Las primeras publicaciones corresponden a las presentadas en las ICRC (Sciutto, 1999a y 2001) y el primer manual del código fue puesto a disposición de la comunidad en 1999 (Sciutto, 1999b)<sup>5</sup>.

AIREs adquirió rápidamente popularidad entre la comunidad de rayos cósmicos. Poco tiempo después del lanzamiento de la primera versión pública, en 1997, el código era conocido y utilizando por numerosos grupos dentro y fuera de la Colaboración Auger. La facilidad de instalación y uso y la velocidad de simulación son dos características que ayudaron a su amplia disseminación. Con sus más de 100 000 líneas de código, AIREs es hoy considerado un “clásico” en

<sup>5</sup>Más información en <http://www.fisica.unlp.edu.ar/auger/aires/ppal.html>

simulación de cascadas y representa una de las contribuciones científicas más importantes producidas en el Departamento de Física de la UNLP adoptado, inclusive, por la colaboración AGASA para simulación de sus eventos.

#### 8.4. GRBs con tanques de Auger

De los emprendimientos que han surgido a partir del Observatorio Auger, se menciona aquí al Proyecto LAGO (*Large Aperture GRB Observatory*) que, aún escribiendo su historia, es el primero dedicado explícitamente a un tema de astronomía de altas energías derivado de Auger. El fenómeno de los destellos de rayos gamma, o *Gamma Ray Bursts* (GRB), es uno de los temas de frontera en el área de astronomía gamma. La idea de utilizar detectores de partículas para la detección de GRB no era nueva cuando el Observatorio Auger comenzó sus pruebas de diseño, en 1999 con el Arreglo de Ingeniería, y ya algunos integrantes de la colaboración internacional pensaban en su implementación. La técnica utilizada, llamada de “partícula individual”, consiste en registrar los cambios de frecuencia de conteo de eventos causados por la contribución adicional del fondo detectado debido a la presencia de un GRB. Las ideas siguieron latentes a la espera de tiempos menos dedicados al diseño, hasta que en 2003 Xavier Bertou (CAB-CNEA) retomó el tema de plantear al Observatorio Auger como detector de GRB. Fue entonces cuando Denis Allard (Universidad de Chicago) realizó una serie de simulaciones que permitieron entender las ventajas que tienen los detectores usados por Auger, al ser detectores Cherenkov en agua, frente a los centelladores usados previamente (Bertou & Allard, 2005). A fines de 2004 nació la idea de la Colaboración LAGO durante el *5th International Workshop on Ring Imaging Cherenkov Counters*, en México, con una primera interacción con colegas de ese país, para finalmente convertirse en un emprendimiento de las Américas con un primer Taller realizado en Bariloche, en noviembre de 2005. Actualmente el Proyecto LAGO tiene participantes de Argentina, México, Bolivia y Venezuela, con detectores instalados, y de Perú con participación para la instalación de futuros instrumentos<sup>6</sup>.

#### 9. Comentario final

Escribir la historia de la astronomía argentina en una sola obra tal vez sea una tarea ambiciosa, pero sin dudas sería imposible sin un comienzo, mérito que, merece destacarse, pertenece a los impulsores de este libro. Por cada línea que se ha agregado a este relato, muchas cosas quedaron por decir. Si este trabajo sirviera como motivación para que científicos e historiadores de la ciencia escriban con propiedad esta historia, su objetivo estaría cumplido.

**Agradecimientos.** Agradezco a la Comisión Directiva (2005-2008) de la Asociación Argentina de Astronomía por esta oportunidad que considero única para relatar, aunque sea en forma incompleta, instancias de la historia de una astronomía relativamente nueva. Un agradecimiento a los editores cuya persistencia logró que finalmente concretara este documento, no sin retrasos. Finalmente un especial agradecimiento a las personas que de una u otra manera me

---

<sup>6</sup>Más información en <http://particulas.cnea.gov.ar/experiments/lago>

han ayudado con este trabajo: Ingo Allekotte, Omar Bernaola, Xavier Bertou, Alberto Etchegoyen, Alberto Filevich, Beatriz García, Hugo Levato, Mario Melita, Pablo Pacheco, Santiago Paolantonio, Juan Roederer, Gustavo E. Romero, Sergio Sciutto y Pedro Waloschek.

## Referencias

- Aharonian, F., et al. (HESS Collaboration), 2004, *A&A*, 425, L13.
- Albert, J., et al. (MAGIC Collaboration), 2006, *Science*, 312, Issue 5781, pp. 1771-1773.
- Allekotte, I. 2009, comunicación personal.
- Allekotte, I., et al. 2002, *Journal of Physics G*, 28, 149.
- Auger Collaboration, 1997, Pierre Auger Project Design Report, 2nd Edition, Fermi Laboratory, November 1996, Revised March 14, 1997.
- Auger Collaboration, 2007, *Science*, 318, pp. 938-943.
- Auger, P., et al. 1939, *Rev. Mod. Phys.*, 11, 288.
- Azcárate, I. N., Ghielmetti, H. S., & Mughleri, V. J. 1992, *Ap&SS*, 190, 317-329.
- Bauleo, P., et al. 1998, *Nuclear Instruments and Methods A*, 406, 69.
- Bernaola, O. A. 2001, *Enrique Gaviola y el Observatorio Astronómico de Córdoba*. Ediciones Saber y Tiempo, Editorial Sigma, Buenos Aires.
- Bertou, X., & Allard, D. 2005, *Nuclear Instruments and Methods A*, 553, 299-303.
- Canals-Frau, D. 1949, *Ciencia e Investigación*, T. 5, mayo, pp. 17-189. También presentado en la 12ª Reunión de la Asociación Física Argentina.
- Cocconi, G. 1959, *Proc. Moscow Conference on Cosmic Rays*, V. 2, 309.
- Combi, J. A., & Romero, G. E. 1995, *A&A*, 303, 872-880.
- Cougnnet, B., Roederer, J. G., & Waloschek, P. 1952a, *Zeitschrift für Naturforschung*, 7a, 201-202.
- Cougnnet, B., Roederer, J. G., & Waloschek, P. 1952b, *Anales del Depto. Inv. Científicas, UNC*, N°1, 1, 93-95.
- Cruz, F. I. 1949, *La Universidad y la Revolución II*, Universidad Nacional de Cuyo, Ministerio de Educación de la Nación, 1951, p.113. Editorial Best, Mendoza. Versión taquigráfica de lo expresado por el Rector, Dr. Cruz, el 15 de diciembre de 1949 durante jornadas científicas en San Luis. Gentileza de Pablo Pacheco.
- Ezquer, R. G. 2007, *Los 50 años del Laboratorio de Ionósfera*, Revista CET (en línea), Universidad Nacional de Tucumán, 29, pp. 1-3.
- Fazio, G. G., Helmken, H. F., Rieke, G. H., & Weekes, T. C. 1968, *ApJ*, 154, L83.
- Galbraith, G., & Jelley, J. V. 1953, *Nat*, 171, 349.
- Ghielmetti, H. S. 1970, *Informe Técnico sobre los resultados del experimento realizado con el cohete Orión 31*, CNRC-PI-4, Serie Publicaciones Internas.
- Ghielmetti, H. S., Becerra, N., Godel, A. M., Heredia, H., & Roederer, J. G. 1964a, *Phys. Rev. Lett.*, 12, 388.
- Ghielmetti, H. S., Becerra, N., Godel, A. M., Heredia, H., Marzulli, L. C., & Roederer, J. G. 1964b, *Journal of Geophysical Research*, 69, 3959.
- Godel, A. M. 1969, *Instrumentación para medición de radiación X y partículas cargadas con cohetes ORION II*, CNRC-PT-3, Serie Publicaciones Técnicas.
- Johnson, W. N. III, Harden, F. R. & Haymes, R. C. 1972, *ApJ*, 172, L1.
- Korff, S. A. & Chasson, R. L. 1959, *Physics Today*, edición de Julio, pp 32-33.
- Linsley, J., 1963, *Phys. Rev. Lett.*, 10, 146.

- López, C. 2009, Historia del Observatorio Astronómico Félix Aguilar (en este mismo libro, p. 187).
- Manifesto, H. 1960, *Equipos electrónicos del AGI para Radiación Cósmica*, CNEA, Informe N° 30.
- Manzano, J. R. 1963, *Asimetría espacial en los mecanismos que modulan la intensidad de la radiación cósmica durante decrecimiento Forbush*, Tesis Doctoral, UBA (ejemplar en biblioteca del IAFE).
- Manzano, J. R. 1997, comunicación personal.
- Manzano, J. R., et al. 1970, Proceedings VI Interamerican Seminar on Cosmic Rays, 19 al 24 de julio de 1970, Universidad Mayor de San Andrés, Laboratorio de Física Cósmica, La Paz, Bolivia. Cuaderno 38, p. 176.
- Mariscotti, M. 1985, *El Secreto Atómico de Huemul*, Editorial Sudamericana-Planeta, Buenos Aires.
- Maurice, J. 2003, Proceedings of the American Philosophical Society, 147, N° 2, p. 167.
- Maze, R. 1938, Journal de Physique et le Radium, 9, 162-168.
- Melita, M. 2009, *Historia del Instituto de Astronomía y Física del Espacio* (en este mismo libro, p. 307).
- Morrison, P. 1958, Il Nuovo Cimento, 7, 558.
- Nagano, M., & Watson, A. A. 2000, Rev. Mod. Phys., 72, 689-732.
- Pacheco, P. 2008, comunicación personal (*La construcción del Observatorio de Rayos Cósmicos de la Universidad Nacional de Cuyo*, documento en preparación para las Actas del E-ICES 4, Malargüe, Mendoza, del 29 al 31 de octubre).
- Paolantonio, S. 2008, comunicación personal.
- Ragout, S., et al. 1970, Proceedings VI Interamerican Seminar on Cosmic Rays, 19 al 24 de julio de 1970, Universidad Mayor de San Andrés, Laboratorio de Física Cósmica, La Paz, Bolivia. Cuaderno 38, p. 198.
- Roederer, J.G. 1952, Zeitschrift für Naturforschung, 7a, 765-771.
- Roederer, J. G. 1964, *High-Energy Solar Particle Events*, Research in Geophysics, Vol. 1, pp. 115-145. Hugh Odishaw ed. The M.I.T. Press, Cambridge.
- Roederer, J. G. 2002, *Las primeras investigaciones de radiación cósmica en la Argentina (1949-1959)*. Ciencia Hoy, Vol. 12, N° 71 (y presentaciones del autor sobre la misma temática).
- Roederer, J.G. 2009, comunicación personal.
- Romero, G. E., Christiansen, H. R., & Orellana, M. 2005, ApJ, 632, 1093.
- Rovero, A. C. 2006, *Workshop sobre Astronomía Observacional en Argentina: Problemas y Perspectivas*, Asociación Argentina de Astronomía, P. Benaglia & S. A. Cellone eds., pp. 51-60. (Ver en <http://www.astronomiaargentina.org.ar>).
- Rovero, A. C., Colombo, E., Sahade, J., & Weekes, T. C. 1996, BAAA, 40, 2.
- Rovero, A. C., Colombo, E., Harris, K., Kertzman, M., Sahade, J., Sembroski G., & Weekes, T. C. 1997, *Towards a Major Atmospheric Cherenkov Detector V*, pp. 142-146, ed. O. C. de Jager, Kruger National Park, Sudáfrica.
- Sahade, J. 2003, Discurso sobre los 120 años del Observatorio de La Plata, 22 de septiembre.
- Santochi, O. R., et al. 1970, Proceedings VI Interamerican Seminar on Cosmic Rays, 19 al 24 de julio de 1970, Universidad Mayor de San Andrés, Laboratorio de Física Cósmica, La Paz, Bolivia. Cuaderno 38, p. 112.
- Sciutto, S. 1999a, Proceedings 26th International Cosmic Ray Conference, International Union of Pure and Applied Physics, Vol. 1, p. 411. D. Kieda, M. Salamon, & B. Dingus eds.

- Sciutto, S. 1999b, *AIRES: A system for air shower simulations (Version 2.2.0)*, astro-ph/9911331.
- Sciutto, S. 2001, *Proceedings 27th International Cosmic Ray Conference*, International Union of Pure and Applied Physics, Vol. 1, p. 237.
- Waloschek, P. 2009, comunicación personal.
- Weekes, T. C. 1988, *Physics Reports*, 160, 1-121.
- Weekes, T. C. 2003, *Very High Energy Gamma-Ray Astronomy*, Institute of Physics, Series in Astronomy and Astrophysics (ISBN 0750306580).
- Weekes, T. C. 2008, *AIP Conference Proceedings*, V. 1085, pp. 3-17.
- Weekes, T. C., et al. 1989, *ApJ*, 342, 379.