

— OBSERVATORIO PIERRE AUGER

Los rayos cósmicos siguen siendo un enigma

El análisis del origen y la identidad de las partículas de altísima energía avanza, pero con nuevas y difíciles preguntas

Carlos Fioravanti



Entre las noticias difundidas por la agencia internacional Reuters el 8 de noviembre de 2007 podía leerse la siguiente: “Cosmic rays believed to start in black holes” (lo que sería, en una traducción libre, “Los rayos cósmicos se originarían en los agujeros negros”). La revista inglesa *The Economist* abdicó de su habitual cautela y, ese mismo día, estampó: “Ellos vienen del espacio exterior: un misterio de 40 años está resuelto”, en referencia al posible origen de dichas partículas. Los resultados del trabajo de un equipo internacional de físicos e ingenieros del Observatorio Pierre Auger, en Argentina, cobraron una enorme repercusión –el sitio *web* del mentado observatorio seleccionó 65 artículos periodísticos de diarios y revistas de todo el mundo que noticiaron la novedad, detallada en el principal artículo publicado en la revista científica *Science* al día siguiente–, pero el misterio aún no ha sido develado.

Cuatro años después, persisten todavía las señales de que los núcleos activos de galaxias, en donde se forman los agujeros negros, pueden, efectivamente, constituir los nidos de los rayos cósmicos de ultra alta energía, por encima de los 10^{19} electronvoltios (eV). “La señal se mantiene, aunque en menor intensidad”, dice la física Carola Dobrigkeit Chinellato, docente de la Universidad de Campinas (Unicamp) y coordinadora del equipo paulista. De los alrededor de 450 autores de los

artículos científicos con datos del observatorio, 30 son brasileños, y entre ellos, 19 son paulistas. El observatorio, producto de una colaboración internacional que reúne actualmente a alrededor de 500 físicos de 90 instituciones, provenientes de 19 países, comenzó a construirse hace diez años al pie de los Andes, en una llanura semidesértica en las cercanías de Malargüe, en el noroeste de Argentina. Los físicos empezaron a recabar datos en enero de 2004, mientras la construcción seguía su marcha, hasta culminar, en el año 2008.

El índice de correlación entre los rayos cósmicos y los núcleos activos de galaxias, que era del 69% en 2007, disminuyó a aproximadamente un 40%, estabilizándose en ese nivel durante los siguientes años, a medida que los detectores de superficie y los telescopios detectaban más partículas; pero todavía se ubica por encima del 21% que apunta que esta relación es pura casualidad. A diferencia de los físicos que trabajan en los aceleradores de partículas, que pueden producir colisiones entre protones cuando lo desean, los del Pierre Auger deben esperar que lleguen desde el cielo. Anualmente, tan sólo unas pocas decenas de rayos cósmicos de altísima energía llegan a la cima de la atmósfera terrestre. Cada uno de éstos atraviesa la atmósfera e interactúa con los núcleos de átomos y moléculas del aire produciendo una lluvia atmosférica formada por miles de millones de partículas. Parte de las mismas llega a los 1.660

Una llanura al pie de los Andes: el espacio ideal para la captura de partículas que provienen del espacio

detectores de superficie, los denominados tanques Cerenkov: cada uno de éstos contiene 12 mil litros de agua purísima. Los sensores de estos tanques detectan la luz azulada que se emite en el agua cuando las partículas electromagnéticas atraviesan los tanques. (Vea la ilustración de la página siguiente)

Dispersos en un área de 3.300 kilómetros cuadrados –el doble de la superficie de la ciudad de São Paulo–, los detectores de superficie funcionan en forma integrada con los 27 telescopios de fluorescencia, los denominados ojos de mosca, capaces de registrar la tenue luz que emiten las moléculas de nitrógeno de la alta atmósfera cuando son excitadas por las partículas de la lluvia iniciada por el rayo cósmico que llega a la Tierra. Al ser tan sensibles, los detectores de fluorescencia, instalados en cuatro edificaciones, funcionan únicamente a oscuras, durante noches sin luna, mientras que los tanques captan las partículas de la lluvia constantemente.

El Pierre Auger fue el experimento pionero en lo que hace a la integración de ambos métodos independientes de observación, hasta entonces utilizados por separado en observatorios menores tales como el Fly's Eye, que funcionó entre 1981 y 1992 en Estados Unidos, con 67 telescopios, y el Akeno Giant Air Shower Array (Agasa), de Japón, con 111 detecto-

res de superficie. “Varios detalles innovadores del proyecto original ahora están mostrando su valía”, sostiene el físico Carlos Escobar, docente de la Unicamp, quien coordinó el equipo brasileño y la negociación con las empresas durante la construcción del observatorio en Argentina desde las primeras reuniones de planificación, participando como uno de los dos representantes brasileños, junto a Ronald Shellard, investigador del Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF) de Río de Janeiro, y actual coordinador de la participación brasileña en el Auger. Desde abril de 2011, Escobar trabaja como investigador invitado en el Fermilab, en Chicago, Estados Unidos.

RAYOS RAROS

El físico francés Pierre Victor Auger detectó las lluvias de partículas en el marco de

un experimento histórico realizado en los Alpes en 1938. Pasados tantos años, todavía no se conoce la composición de los rayos cósmicos de altísima energía. La principal razón de ello es que son bastante raros. Cuanto mayor es la energía, más raras son las partículas. “Cuando la energía aumenta diez veces, la cantidad de rayos cósmicos que llegan a la Tierra con energía arriba de ese valor es cien veces menor”, dice Dobrigkeit Chinellato. “Los rayos cósmicos más energéticos alcanzan más de 10^{19} eV y solamente unos pocos llegan a la Tierra, por kilómetro cuadrado, anualmente. Para las partículas con energía superior a 10^{20} eV, esa tasa se reduce a una partícula por kilómetro cuadrado y por siglo”.

Según la investigadora, en los análisis de los rayos cósmicos ultraenergéticos detectados en el Observatorio Auger, el resultado de la correlación con los núcleos activos de galaxias refuerza la hipótesis de que dichos rayos cósmicos serían protones, es decir, núcleos de hidrógeno. “El razonamiento que subyace en esa interpretación apunta que los rayos cósmicos habrían sido poco desviados por los campos magnéticos que atravesaron, y así resguardaron la cercanía angular con sus posibles fuentes”, dice. “Si fuesen núcleos de

elementos más pesados como el hierro, por ejemplo, habrían sufrido deflexiones mayores en los campos magnéticos, lo cual acabaría con esa correlación.”

Pero la cosa no es tan sencilla. Las observaciones del desarrollo de las lluvias de partículas con los telescopios de fluorescencia y las comparaciones con los pronósticos teóricos indican que los rayos cósmicos podrían ser –al menos algunos de ellos– núcleos más pesados como el hierro, es decir, bloques de 26 protones y 30 neutrones. “Esa interpretación depende en demasía de la validez de los modelos teóricos en la descripción del desarrollo de las lluvias”, sostiene Dobrigkeit Chinellato. “Los modelos teóricos se basan en parte en la extrapolación de observaciones realizadas en experimentos, en aceleradores de partículas y con energías bastante inferiores”. En la práctica, por ahora no surge un modo de optar sencillamente por una conclusión u otra.

Para arribar a una respuesta menos incierta, los físicos deberán ajustar, corregir o ampliar esos abordajes teóricos para

Tan sólo una partícula de altísima energía llega a la Tierra por kilómetro cuadrado y por siglo

Los detectores en campo

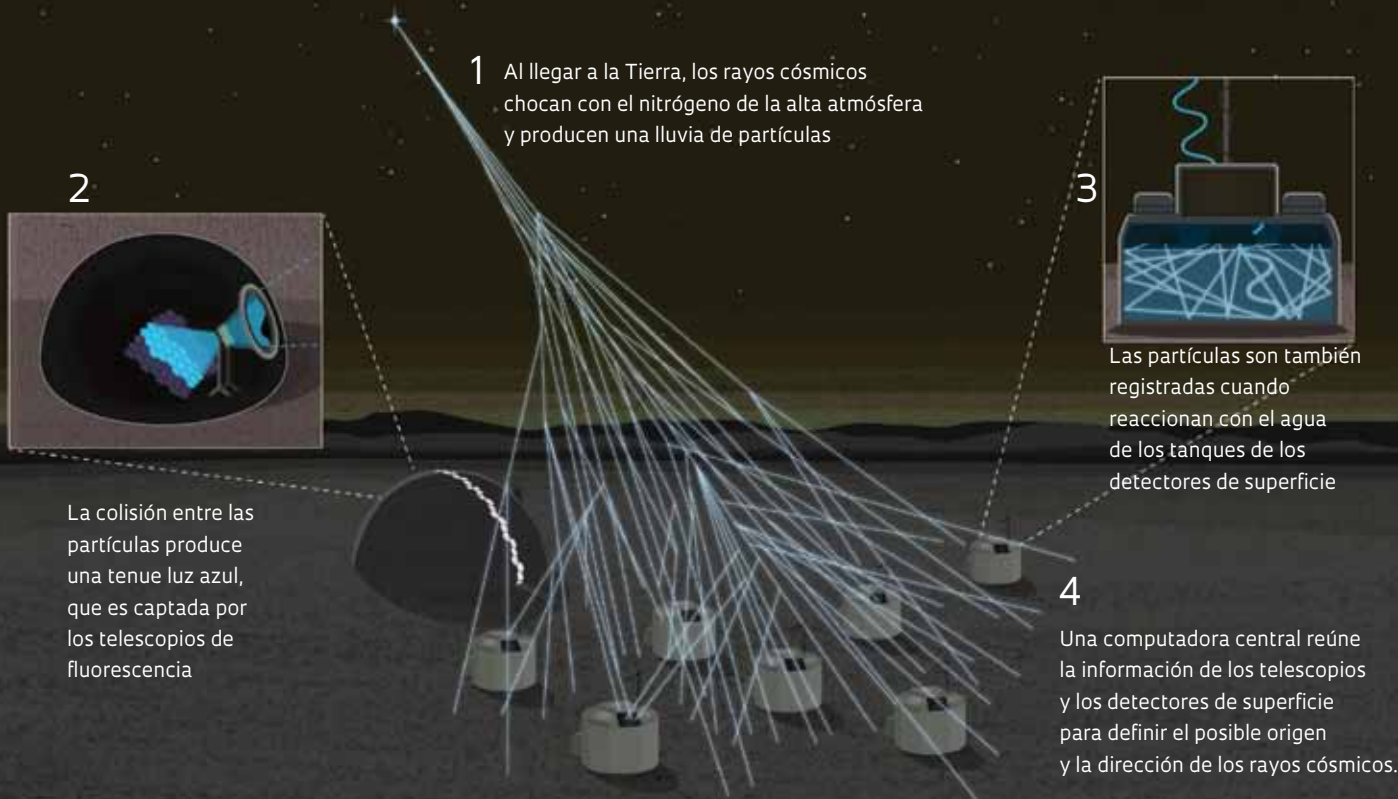
El Observatorio Pierre Auger ocupa 3.300 kilómetros cuadrados, el doble de la superficie de la ciudad de São Paulo ó 10 veces la de París



FONTE: OBSERVATÓRIO PIERRE AUGER

A la espera de las partículas

El Observatorio Pierre Auger reúne dos formas independientes de detección de rayos cósmicos



dilucidar la identidad de los rayos cósmicos. La física teórica no explica cómo pueden adquirir una energía 100 millones de veces superior a la de las partículas del mismo tipo producidas en el Tevatrón, el más poderoso acelerador de partículas del mundo, ubicado en el Fermilab. Esto quiere decir que las herramientas conceptuales son limitadas, y las alternativas son endebles todavía. “Nuestros datos de 2007 debilitan más aún los modelos *top down*”, dice Escobar. Defendidos por otros grupos de físicos, los modelos *top down* suponen la existencia de partículas con energías todavía más altas que las detectadas, superiores a 10^{20} eV. En los ocho o diez artículos científicos publicados anualmente, los físicos del Auger han detallado éstas y otras conclusiones, aparte de plantear las nuevas posibilidades de uso de los equipamientos, tales como el monitoreo del clima o del movimiento de las placas tectónicas.

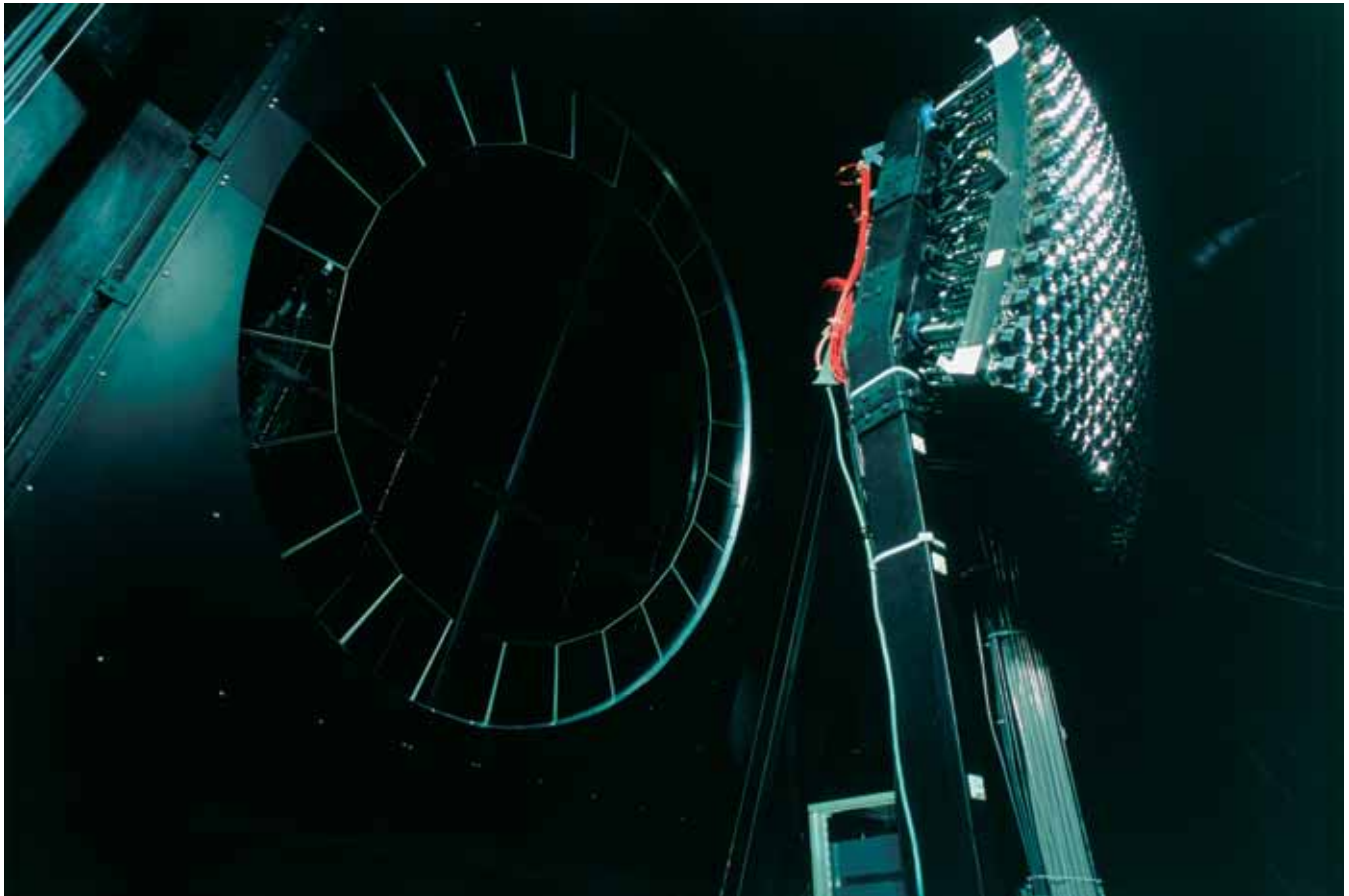
Los niveles de energías totales que están analizando en las colisiones de partículas son entre 100 y 200 veces más altos que los de las producidas en el Large Ha-

dron Collider (LHC), el mayor acelerador de partículas del mundo, situado en el Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (Cern), en Ginebra. Los grupos del LHC también experimentan avances, retrocesos y desvíos con miras a confirmar la existencia del llamado bosón de Higgs, una partícula hipotética que les conferiría masa a las demás partículas y confirmaría las fórmulas con las que los físicos trabajan desde hace 50 años. “Heráclito ya decía que a la naturaleza le encanta esconderse”, dice Escobar. “Para saber con precisión si los rayos cósmicos son protones o núcleos de hierro, necesitaremos otros 15 años recabando datos”, añade. “En la época en que construimos el observatorio no parecía que fuese así, pero 3 mil kilómetros cuadrados, que es el área actual ocupada por el observatorio, resultan pocos.”

Construido entre 2002 y 2008, el Pierre Auger es el mayor observatorio de rayos cósmicos en actividad. El área que ocupa es tan grande que hasta el más alucinado de los motoqueros que “vuelan” entre los

automóviles en la ciudad de São Paulo difícilmente lograría ver en un solo día los 1.660 tanques cilíndricos de 3,7 metros de diámetro por 1 de altura, cada uno ubicado a una distancia de un kilómetro y medio del otro, formando una malla triangular. Desde hace dos años, comenta Escobar, los tanques cuentan con nuevos dispositivos electrónicos, y aparte de registrar la luz que se produce en la colisión con el agua, se los emplea para registrar la llegada de las partículas que se forman cuando los rayos cósmicos se fragmentan al chocar contra la atmósfera terrestre, reforzando la argumentación destinada a develar la identidad de los rayos cósmicos.

Los lectores electrónicos de los tanques del Observatorio Pierre Auger son capaces ahora de detectar lluvias iniciadas por neutrinos y fotones en la alta atmósfera. Los neutrinos son partículas con una cantidad ínfima de masa y sumamente abundantes: únicamente menos abundantes que las partículas de luz, los llamados fotones. “Existen en la actualidad modelos teóricos que prevén la producción de neutrinos



La participación brasileña en el Observatorio Pierre Auger

INVERSIONES

FAPESP, 2,5 millones de dólares;
Finep/ MCT, 1 millón de dólares; CNPq,
300 mil dólares y FAPERJ, 200 mil dólares

INSTITUCIONES

Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF); Pontificia Universidad Católica – Río de Janeiro (PUC-RJ); Universidad de São Paulo (USP), Instituto de Física, São Paulo; Universidad de Campinas (Unicamp); Universidad Estadual de Feira de Santana (UEFS); Universidad Estadual del Sudoeste de Bahía (Uesb); Universidad Federal de Bahía; Universidad Federal del ABC (UFABC) y Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ)

EMPRESAS

Alpina Termoplásticos; Rotoplastyc
Indústria de Rotomoldados; Equatorial
Sistemas; Schwantz Ferramentas
Diamantadas y Acumuladores Moura

y fotones en las mismas fuentes de rayos cósmicos o incluso durante la propagación de los rayos cósmicos por el espacio, pero hasta ahora todavía no hemos detectado ninguno llegando a la Tierra”, dice Dobrigkeit Chinellato. “El hecho de no haberlos detectado también es importante.”

Como actual coordinadora del proyecto temático vinculado al Auger (los proyectos anteriores contaban con la coordinación de Escobar), la investigadora lleva adelante el seguimiento del cambio de las baterías de los tanques Cerenkov. Las baterías almacenan la energía producida por los paneles solares que es utilizada por un minip procesador que detecta las señales de los rayos cósmicos y las transmite a la computadora central, situada a kilómetros de distancia.

“El trabajo de cambiar las dos baterías de cada uno de los 1.600 tanques, a medida que se agota su vida útil, es constante, y la reposición durante los próximos cuatro años se encuentra asegurada debido al apoyo de la FAPESP”, dice Dobrigkeit Chinellato. Son en promedio 600 baterías por año, o dos por día, las que se cambian. La científica comenta que sigue de cerca los ensayos en Estados Unidos con diez tanques experi-

mentales, que tienen un nuevo formato y nueva electrónica, “también adquiridos con apoyo de la FAPESP”, subraya. Los nuevos tanques llevan tan sólo un lector de luz en lugar de tres, como los actuales.

El trabajo en estos momentos es relativamente simple, ante la cantidad de imprevistos que ya tuvieron que afrontar. Al principio, los tanques Cerenkov no funcionaban, por una sencilla razón: las vacas que pastaban por la llanura se interesaron en ellos, sus nuevos vecinos; y algunas empezaron a masticar los cables de transmisión de datos. Fue el argentino Ricardo Pérez, encargado del mantenimiento de los tanques, quien se valió de sus conocimientos como ex técnico en minería e ideó una caja de protección para los cables, y entonces las vacas nunca más se erigieron como obstáculo para la ciencia.

“Cuando este proyecto comenzó”, recuerda Dobrigkeit Chinellato, “todo parecía un sueño inalcanzable”. Al mayor observatorio de rayos cósmicos del mundo lo empezó a planificar en 1992 el físico estadounidense James Cronin, docente de la Universidad de Chicago galardonado con el Nobel de Física en 1980, junto al escocés Alan Watson, de la Universidad de

La ciencia en acción: el estadounidense Patrick Allison y el francés Xavier Bertou trabajando en las instalaciones electrónicas de un detector de superficie. A la izquierda, uno de los fotodetectores de rayos cósmicos



Leeds, Inglaterra. Como la necesidad de cooperación internacional quedaba clara en vista de las proporciones que asumía el proyecto original, ambos extendieron una invitación a unos pocos pares interesados y experimentados en el área de física de partículas para mantener una primera conversación, en junio de 1995. Uno de los participantes en ese diálogo era Escobar, en ese entonces docente de la Universidad de São Paulo (USP).

En una reunión realizada en la sede de la Unesco en París, en noviembre de 1995, Escobar, Ronald Shellard, del Centro Brasileño de Investigaciones Físicas (CBPF), y Armando Turtelli, de la Unicamp, junto a los colegas argentinos Alberto Etche-goyen y Alberto Filevich, defendieron arduamente la posibilidad de que el nuevo observatorio se construyese en Argentina. “Fue un momento crucial”, comenta el físico Marcelo Leigui, quien participó en esa investigación como posdoctor por la Unicamp y ahora la sigue como docente de la Universidad Federal del ABC Paulista. “La participación brasileña podría haber sido menor si se hubiese optado por uno de los otros dos países posibles, Sudáfrica o Australia”. Dicha participación brasileña, oficializada el 17 de julio de 2000 en la Unicamp, se tradujo en inversiones por alrededor de 4 millones de dólares bajo la forma de equipamientos adquiridos a industrias nacionales y en el costeo de becas de posgrado y de viáticos.

Malargüe, una localidad con 23 mil habitantes y dos cruces con semáforo,

ubicada a 420 kilómetros de Mendoza, el centro urbano más cercano dotado de líneas aéreas regulares, comenzó a cambiar con el comienzo de las obras, a mediados de 1999. Empezaron a llegar los investigadores extranjeros provenientes de Estados Unidos, Italia, Alemania, Polonia, Eslovenia y muchos otros países. Luego de sortear la extrañeza inicial, los malargüinos corrieron a aprender inglés y acudieron a visitar la sede del observatorio, una hermosa edificación con anchos vidrios en lugar de paredes, como parte de sus paseos de fin de semana. Mendoza, conocida como la principal región productora de vinos de Argentina, avanzaba así también en el campo científico.

Enseguida empezaron a llegar los camiones –y muchos– con equipamientos. Desde comienzos de 2001, Alpina, una empresa de São Paulo, fabricó y envió los tanques Cerenkov, en viajes que no demoraban menos que dos semanas y estaban sujetos a todo tipo de imprevistos, desde baches en estrechas carreteras hasta inspectores viales que pretendían efectuar la fiscalización interna de los tanques. Roto-plastyc, una empresa de Rio Grande do Sul, fabricó parte de los tanques en actividad y participó en el desarrollo y la producción de los tanques en su nuevo formato.

Schwantz, de la localidad de Indaiatuba (São Paulo), elaboró y envió las lentes correctoras de los telescopios de fluorescencia; elaboradas con vidrio alemán, estas lentes convergentes en formato trapezoidal, de 25 centímetros de altura, forman

un anillo corrector a lo largo de los bordes del diafragma, que regula la entrada de luz al igual que el diafragma en una cámara fotográfica, y aumenta el radio de la lente de 85 a 110 centímetros, sin perder la calidad de la imagen. Equatorial, de la localidad paulista de São José dos Campos, fabricó el prototipo de un dispositivo de 2,5 metros de diámetro que permite la regulación automática de las lentes de los telescopios y los *shutters* (obturadores), que exponen al telescopio para efectuar la observación nocturna. Moura, de la ciudad de Recife (Pernambuco), fabricó las baterías destinadas a los paneles solares de los detectores de superficie.

Cada uno de los 17 países participantes contribuyó con el envío de aparatos y de investigadores, de modo tal que el observatorio contiene un poco de la mejor tecnología del mundo. Argentina se encargó de la infraestructura, con las máquinas destinadas a la purificación del agua de los tanques y una parte de los tanques y las baterías de los paneles solares que alimentan a los detectores de superficie, en una división de tareas con los mexicanos y los estadounidenses. De Australia salieron los detectores de nubes, y de Francia, los dispositivos electrónicos para los detectores de superficie. Los checos enviaron los espejos de los telescopios, y los españoles, los paneles solares de los tanques. Los detectores de luz fluorescente de los telescopios se sumaron a las cámaras italianas y a los mandos electrónicos elaborados por ingleses y alemanes.



El físico indonesio Richard Randria analiza las lluvias de partículas en la central de registro de datos

Los lectores de esta revista siguieron de cerca la construcción del Pierre Auger. En agosto de 2000, el artículo estampado en la portada de *Pesquisa FAPESP*, escrito por Mariluce Moura, narraba los entretelones de las negociaciones y del comienzo de la construcción. En abril de 2002, otro reportaje describía el ritmo de las obras: “En este momento, en un espacio que a veces recuerda el refinamiento de una nave espacial y en otras a las obras robustas de una hidroeléctrica, decenas de obreros, técnicos e investigadores trabajan intensamente en el montaje de los instrumentos de medición de los rayos cósmicos”. En esa época, José Fernando Perez, en ese entonces director científico de la FAPESP y presidente del comité económico del Observatorio Auger, visitó las obras de Malargüe. Con él se encontraba José Roberto Leite, físico de la Universidad de São Paulo (USP) y director de la Sociedad Brasileña de Física (SBF), quien falleció inesperadamente al año siguiente.

El proceso de construcción contempló algunas curiosidades notables. La primera señala que los datos ya se recababan a medida que los equipamientos iban instalándose. Otra indica que los físicos e ingenieros no dudaban en hacer cualquier trabajo que fuese necesario. “Debemos hacer lo que se necesite”, me dijo en 2003 el francés Xavier Bertou, coordinador de operaciones científicas. Bertou había dejado París el año anterior para instalarse en Malargüe y ya no rechazaba el mate cebado al caer la tarde. Él y otros físicos, en su mayoría posdoctores de alrededor de 30 años, montaban aparatos durante el día en los tanques o en las edificaciones para los telescopios; y por las noches, muchas veces hasta las 3 de la mañana, en los talleres del complejo en la ciudad.

“Demostramos que es posible ejecutar un proyecto de gran porte con un presupuesto inferior al

En 2011 empezaron a cambiarse las baterías de los 1.600 detectores de superficie

estipulado”, dijo Escobar en 2007. Los gastos totales ascendieron a 54 millones de dólares, 6 millones de dólares por debajo de lo previsto. ¿Cómo lo lograron, si la mayoría de los proyectos sobrepasa los presupuestos? Negociando precios con los proveedores de equipamientos y ahorrando lo máximo posible. En 2005, al ver que estaban gastando mucho, Escobar decidió que los integrantes del equipo brasileño dejarían de viajar al Observatorio Pierre Auger por vía aérea y empezarían a ir en avión únicamente hasta Buenos Aires, desde donde podrían tomar ómnibus para llegar a Malargüe al cabo de 16 horas de viaje. Nadie lo cuestionó. Después de un año, Sérgio Carmelo Barroso, como posdoctor de la Unicamp, tuvo que ir diez veces a Malargüe para montar y probar equipos. Y sigue participando en este trabajo, ahora como docente de la Universidad Estadual del Sudoeste de Bahía (Uesb). ■

Los proyectos

1. Estudio de los rayos cósmicos de más altas energías en el Observatorio Pierre Auger –nº 2010/ 07359-6 (2010-2014); **Modalidad** Proyecto temático; **Coordinadores** Carola Dobrigkeit Chinellato – Unicamp; **Inversión** R\$ 3.064.952,43

2. Observatorio Pierre Auger – nº 1999/ 05404-3 (2000-2007); **Modalidad** Proyecto temático; **Coordinadores** Carlos Ourívio Escobar; **Inversión** R\$ 6.034.341,71

Artículo científico

The Pierre Auger Collaboration. Correlation of the Highest-Energy Cosmic Rays with Nearby Extragalactic Objects. *Science*. v. 318, n. 5852, p. 938-43, 2007.

De nuestro archivo

Más masa para los rayos cósmicos, Edición nº 170 – abril de 2010; *Los enigmas del espacio*, Edición nº 167 – enero de 2010; *Inauguran el observatorio Pierre Auger* Edición nº 154 – diciembre de 2008; *El Pierre Auger ahora está listo*, Edición nº 149 – julio de 2008; *El largo periplo de los rayos cósmicos...*, Edición nº 142 – diciembre de 2007; *Lluvia de partículas*, Edición nº 116 – octubre de 2005; *Los ojos del desierto*, Edición nº 90 – agosto de 2003; *Llegan los rayos cósmicos*, Edición nº 74 – abril de 2002; *Cerco en el aire, captura en tierra*, Edición nº 56 – agosto de 2000.