

FÍSICA

El largo periplo de los rayos cósmicos

CARLOS FIORAVANTI

Publicado en diciembre de 2007

Mapa celeste que muestra las direcciones de llegada de los 27 rayos cósmicos de energía más alta detectados en el Pierre Auger (los círculos blancos) y los Núcleos de Galaxias Activas más cercanos (los asteriscos rojos). El asterisco blanco representa a la galaxia Centauro A

Una duda antigua sobre los rayos cósmicos puede haber sido resuelta. Hace casi 70 años el físico francés Pierre Auger detectó estas partículas –las más energéticas del Universo– desahaciéndose en miles de millones de otras al chocar contra la atmósfera terrestre, pero no tenía ninguna certeza sobre dos puntos aparentemente sencillos: de dónde podrían venir y qué eran exactamente. Pero ahora, un equipo integrado por 370 investigadores de 17 países, incluido Brasil, tienen una respuesta para la primera pregunta (la segunda continúa en el aire). Como fue detallado en la edición de Science del 9 de noviembre, los rayos cósmicos de energía más alta se formarían en las proximidades de los agujeros negros –devastadores de materia y energía– encontrados en los núcleos de galaxias activas de las vecindades de nuestra propia galaxia, la Vía Láctea.

Los rayos cósmicos de energía más alta nacen en medio de una mezcla de partículas cargadas eléctricamente que los agujeros negros más activos liberan después de que se sacian de gases, polvo cósmico y estrellas. Esta situación dantesca pasa en galaxias activas como la Centauro A, la más próxima, a 12 millones de años luz de la Vía Láctea, o en otras ubicadas hasta a 300 millones de años luz –no es tan lejos si recordamos que el Universo se extiende por 13 mil millones de años luz. Los rayos cósmicos de energía más alta que llegan hoy hasta la Tierra pueden por lo tanto haberse originado en las vísperas de una superextinción que borró del mapa el 95% de las formas de vida en nuestro planeta (hace 250 millones de años) o de que los reptiles generasen borradores de los dinosaurios (hace alrededor de 230 millones de años atrás).

Los físicos de esa área se interesan poco por los rayos cósmicos de energía más baja. Son más comunes y de orígenes aún más inciertos, aunque sean los que pueden interrumpir una conversación en el móvil



y de los científicos que quisieron saber de dónde podrían venir

o una película en la televisión cuando se forman en las explosiones solares más intensas. Los de alta energía son más atractivos, en primer lugar, porque cargan una energía casi inconcebible, de hasta 60×10^{18} electrones voltios (1 electrón voltio es la unidad de energía de las partículas, y corresponde a la energía del electrón, la menor partícula elemental). En segundo lugar, por ser muy raros: llegaría a la Tierra solamente un rayo de energía más alta en cada kilómetro cuadrado por siglo (el nombre de estas partículas sugiere que llegan en haces de luz, pero no: son viajeros solitarios). En tercer lugar, porque pueden convertirse en otra forma de ver el cielo.

“Este artículo de *Science* abre la posibilidad de que estudiemos los objetos celestes también por medio de los rayos cósmicos”, celebra el físico Carlos Escobar, profesor de la Universidad Estadual de Campinas (Unicamp) y coordinador de la participación brasileña. Desde los tiempos de Galileo los astrofísicos cuentan solamente con la luz —inicialmente sólo la luz visible y más tarde en varias longitudes de onda,

del infrarrojo hasta los rayos gamma— para observar el Universo. Los rayos cósmicos podrían ayudar a estudiar inicialmente los fenómenos que ocurren en las centenas de galaxias activas, cuyos núcleos emiten una cantidad de energía millares de veces superior a la producida en toda la Vía Láctea. Los núcleos de esas galaxias muchas veces albergan agujeros negros de masa respetable —millones de veces mayor que la del Sol— que absorben todo alrededor. Los rayos cósmicos de energía más alta resultan de esa voracidad insaciable, como las migajas de un pan comido de prisa, y son después impulsados por medio de turbulencias de los campos magnéticos del espacio.

En un trabajo reciente publicado en *Nature*, físicos de Japón, Irlanda, Alemania y Estados Unidos mostraron que rayos cósmicos con energía 10 mil veces más baja que los presentados en *Science* pueden acelerarse debido a explosiones conocidas como estrellas supernovas, que pueden liberar en poco tiempo la misma energía que el Sol emitiría en 10 mil millones de años. Este estudio confirmó un fenómeno

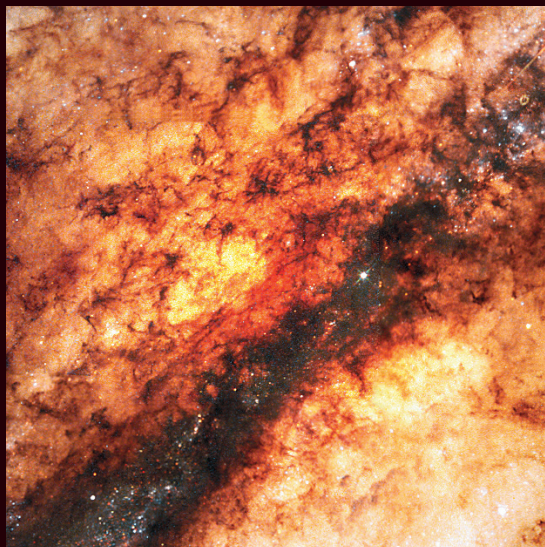
previsto hace décadas por el físico italiano Enrico Fermi, pero dejaba en el aire la duda sobre dónde esas partículas se podrían formar.

El equipo del cual Brasil formó parte consiguió detectar el origen de los rayos cósmicos más energéticos porque contó con un aparato monumental: el Observatorio de Rayos Cósmicos Pierre Auger, que ocupa tres mil kilómetros cuadrados, el doble del área de la ciudad de São Paulo, en una región semidesértica del oeste de Argentina cerca de Malargüe, una localidad de 20 mil habitantes. Lo que hoy es el mayor observatorio del mundo en su modalidad comenzó a ser planeado en 1992 por el físico estadounidense James Cronin, profesor de la Universidad de Chicago premiado con el Nobel de Física en 1980, y por el escocés Alan Watson, de la Universidad de Leeds, Inglaterra. Como la necesidad de cooperación internacional se hacía evidente en vista de las proporciones que el proyecto original asumía, ellos invitaron a unos pocos compañeros interesados y experimentados en el área de física de las partículas para

OBSERVATORIO PIERRE AUGER

La participación brasileña

- > 18 investigadores de diez instituciones de São Paulo, Río de Janeiro y Bahía, además de alumnos de maestría, doctorado e iniciación científica
- > Cinco empresas: Alpina Termoplásticos, Rotoplastyc Industria de Rotomoldados, Ecuatorial Sistemas, Schwantz Herramientas Diamantadas y Acumuladores Moura
- > Inversiones:
FAPESP: 2,5 millones de dólares
Finep/MCT: 1 millón de dólares
CNPq: 300 mil dólares
FAPERJ: 200 mil dólares



De dónde vienen

Una de las cunas de los rayos cósmicos, a 12 millones de años luz: el núcleo de Centauro A, una de las galaxias más próximas de la Vía Láctea. Las partículas más energéticas del Universo pueden venir de núcleos de galaxias situados a hasta 300 millones de años luz

una primera conversación, en junio de 1995. Uno de los participantes era Escobar, en la época profesor 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), Armando Turtelli, de la Unicamp, y los pares argentinos Alberto Etchegoyen y Alberto Filevicvh, defendieron arduamente la posibilidad de que el nuevo observatorio fuera construido en Argentina. “Ése fue un momento crucial”, comenta el físico Marcelo Leigui, quien participó en esta investigación como posdoctor por la Unicamp y ahora la acompaña como profesor de la Universidad Federal del ABC. “La participación brasileña habría sido menor si hubiese sido escogido uno de los otros dos países candidatos, Sudáfrica y Australia”. La participación brasileña, oficializada el 17 de julio de 2000 en la Unicamp, se tradujo en inversiones de alrededor de 4 millones de dólares, en la forma de equipos comprados a industrias nacionales y en el pago de becas de posgrado y de gastos de viajes.

Los lectores de esta revista pudieron acompañar los principales momentos de la lenta y ardua construcción del Pierre Auger. En agosto de 2000 el artículo de la portada de *Pesquisa FAPESP* reve-

laba la trastienda de las negociaciones y el inicio de la construcción. En abril de 2002 otra nota describía el ritmo de las obras: “En este momento, en un espacio que a veces evoca el refinamiento de una nave espacial y en otras ocasiones, las obras robustas de una central hidroeléctrica, decenas de operarios, técnicos e investigadores trabajan intensamente en el montaje de los instrumentos de medición de los rayos cósmicos”.

En ese entonces ya operaban 40 de los 1.600 detectores de superficie, los llamados tanques Cerenkov, cada uno con 11 mil litros de agua purísima, que captan la radiación azulada producida cuando un rayo cósmico choca con el agua. Los tanques funcionan en conjunto con 24 telescopios de fluorescencia, que registran la luz producida cuando los rayos cósmicos chocan con la atmósfera. El Pierre Auger fue un experimento pionero en integrar los dos métodos de observación, hasta entonces adoptados aisladamente en observatorios menores en Estados Unidos y Japón.

La ingeniosidad de esa construcción, retratada ya en la etapa final en un artículo de agosto del 2003, resulta también de la colaboración de empresas de 19 países. De Brasil participaron Alpina y Rotoplastyc, que fabricaron los tanques Cerenkov, Schwantz, con las lentes correctoras de los telescopios, Ecuatorial, que montó los dispositivos de regulación de los telescopios, y Moura, con las

baterías de los paneles solares de los detectores de superficie. El físico Vitor de Souza comenta que aprendió “a superar las barreras del entendimiento entre el pensamiento académico y el industrial” a medida que ayudaba a construir y a instalar los equipamientos.

Pesquisa FAPESP acompañó también la llegada de los rayos cósmicos. En octubre de 2005, fecha de otro artículo, había registros de 3 mil partículas, de las cuales 20 eran preciosas: estaban en el rango de energía más alta. Ese año los físicos reunieron las 27 partículas con energía superior a 57×10^{18} electrones voltios registradas de 2004 a 2007 y verificaron que ellas provenían de direcciones específicas, relacionadas con los núcleos de galaxias activas próximos de la Vía Láctea. La conclusión descartó la posibilidad de que las partículas

> EL PROYECTO

Observatorio Pierre Auger

MODALIDAD
Proyecto temático

COORDINADOR
CARLOS OURÍVIO ESCOBAR - Unicamp

INVERSIÓN
R\$ 6.034.341,71 (FAPESP)

A dónde llegan

Un tanque con 11 mil litros de agua pura de uno de los 1.600 detectores del mayor observatorio de rayos cósmicos del mundo: experimento pionero en integrar dos métodos de estudio, los detectores de superficie como éste y 24 telescopios de fluorescencia



OBSERVATORIO PIERRE AUGER

viniesen de la propia Vía Láctea o de regiones más distantes (en este caso se distribuirían de forma homogénea en el cielo en vez de agruparse de acuerdo con sus probables orígenes).

“Demostramos que es posible ejecutar un proyecto de gran porte con un presupuesto inferior al planificado”, evalúa Escobar. Las inversiones de los 17 países llegaron a 54 millones de dólares, 6 millones de dólares menos de lo previsto, a pesar de los imprevistos de todo tipo. “El aprendizaje en administración de proyectos fue inmenso”. Los brasileños también se apretaron el cinto. Hace dos años, por ejemplo, Escobar decidió que todos los integrantes del equipo brasileño dejarían de ir a l Pierre Auger por medio de dos vuelos y comenzarían a ir en avión sólo hasta Buenos Aires, de donde podrían tomar un ómnibus y llegar a Malargüe al cabo de 16 horas de viaje.

“Además del conocimiento en sí, aprendimos a convivir con diferentes formas y ritmos de trabajo”, reconoce Sérgio Carmelo Barroso, que en un año tuvo que ir diez veces a Malargüe para montar y probar equipos – y aún participa en este trabajo, ahora como profesor de la Universidad Estadual del Sudoeste de Bahía (UESB). “Aprendí cómo se proyecta, se construye y se prueba un experimento, cómo se analizan sus datos y finalmente cómo extraer los resultados científicos de interés”, agrega

Souza, quien desde enero trabaja en la Universidad de Karlsruhe, Alemania.

“Aún no llegamos adonde queríamos”, se inquieta Leigui. Para comenzar, falta confirmar si los rayos cósmicos de ultraalta energía son realmente protones – uno de los componentes del núcleo atómico, casi dos mil veces mayor que los electrones– o núcleos de oxígeno o de carbono o cualquier otra cosa. “Los resultados que tenemos son coherentes con la idea de que los rayos cósmicos sean realmente protones, de baja carga eléctrica”, afirma Escobar.

Con este trabajo, los físicos prueban la validez de algunas teorías. Habría un límite máximo de energía que los rayos cósmicos podrían presentar al llegar a la Tierra, el llamado corte GZK, próximo a 60×10^{18} electrones voltios, pero, por supuesto, era necesario confirmarlo. Según Escobar, el hecho de haber obtenido sólo correlaciones con objetos extragalácticos próximos indica que el corte GZK está funcionando.

Como el fin de un viaje puede marcar el inicio de otros aún más largos, el equipo del Auger se atiende también al plan de construir en Estados Unidos una versión similar del observatorio de Argentina, que podrá revelar algunos secretos más del cielo del hemisferio Norte. Después de que esté funcionando, por supuesto, dentro de al menos diez años. ■

Los rayos pierden energía en su camino hacia la Tierra*

En 2008, los físicos del Observatorio Pierre Auger demostraron que los rayos cósmicos pierden efectivamente energía en su camino hacia la Tierra al interactuar con la radiación cósmica de fondo, un resto del Big Bang, la explosión primordial que habría generado el Universo hace 13.700 millones de años. En un estudio que salió publicado el 8 de agosto en la revista científica *Physical Review Letters*, los investigadores prácticamente confirmaron la existencia del llamado corte GZK. De acuerdo con esta teoría, existe un límite máximo en la energía de alrededor de 5×10^{19} electronvoltios (eV) que los rayos cósmicos pueden cargar al llegar a la Tierra. Rayos con energías superiores a dicho valor se vuelven menos potentes en su viaje a la Tierra debido a la acción de la radiación cósmica. Eso fue lo que el equipo del Auger constató en sus mediciones, en las cuales se registraron poquísimos eventos con energía superior a $5,8 \times 10^{19}$ eV.

* Actualización de los resultados de la investigación obtenidos en 2008.