

OBSERVANDO LOS RAYOS CÓSMICOS

El "Observatorio Pierre Auger" se está construyendo actualmente en las cercanías de la ciudad de Malargüe, Mendoza, para detectar y estudiar los rayos cósmicos de las más altas energías.

Ingomar Allekotte y Mariano Gómez Berisso

¿QUÉ SON LOS RAYOS CÓSMICOS Y LAS LLUVIAS ATMOSFÉRICAS?

La historia de los rayos cósmicos comenzó con una serie de experimentos realizados a principios del siglo XX. En ellos se mostró que existen partículas subatómicas extremadamente energéticas arribando a la Tierra provenientes del espacio exterior. Si bien a estas partículas se las denomina "rayos cósmicos" por razones históricas, en su mayoría se trata de núcleos atómicos, es decir, átomos que han perdido todos sus electrones, y que debido a su alta energía se desplazan a una velocidad cercana a la de la luz.

A partir de la segunda mitad del siglo pasado se han llegado a detectar rayos cósmicos extremadamente energéticos. Su energía es unas 100 millones de veces superior a la máxima energía a la que pueden acelerarse partículas elementales en los más potentes aceleradores creados por el ser humano. Todavía no se conoce con exactitud el lugar del universo en el que son producidas estas partículas, lo más probable es que provengan de otras galaxias cercanas a nuestra Vía Láctea.

El problema de estudiar en detalle estas partículas radica en que la cantidad de ellas que arriban a la Tierra es muy pequeña: a cada kilómetro cuadrado sólo llega, en promedio, una partícula cada 100 años. Uno pensaría que con un flujo tan pequeño sería imposible lograr detectar alguna vez alguna de estas partículas, y menos aún comprender cuál es su origen y procedencia. Para tener alguna posibilidad de capturar alguna de estas partículas es necesario idear un sistema de detección que cubra un área muy grande, de varios cientos de km². Por suerte, la atmósfera terrestre nos provee de un excelente medio para capturar y detectar estos rayos cósmicos ultra energéticos. Para comprender cómo, visualicemos qué sucede cuando una de estas partículas, proveniente del espacio interestelar, ingresa en la atmósfera terrestre (ver Figura 1). Aproximadamente a 20 km de altura tendrá su primera colisión con una molécula de aire. En ese choque se transfiere parte de la energía a las partículas de la molécula, que saldrán despedidas en la dirección de incidencia del rayo cósmico original (al que llamamos "primario"). Este proceso se repite en una suerte de cascada, en la que más y más partículas son puestas en movimiento. Además, al tratarse de colisiones de partículas con velocidades cercanas a la velocidad de la luz ($c=300.000$ km/seg), es posible la creación de nuevas partículas (llamadas "secundarias"), acorde la equivalencia energía-masa caracterizada por la famosa fórmula $E=mc^2$. La cantidad de partículas secundarias es tanto más grande cuanto mayor sea la energía de la partícula primaria, pudiendo generarse cascadas que implican el movimiento de un millón de millones de nuevas partículas. La existencia de estas "lluvias atmosféricas", "cascadas" o "chubascos" de partículas fue descubierta por el físico francés Pierre Auger, mientras estudiaba rayos cósmicos en los Alpes Franceses en 1938.

Casi todas las partículas de la cascada avanzan a una velocidad cercana a la de la luz, en dirección casi paralela a la del rayo cósmico incidente. Sin embargo, como la generación de partículas secundarias es debida a los encuentros fortuitos con las moléculas de aire, la cascada se va expandiendo lateralmente a medida que avanza en la atmósfera. Por lo tanto, una lluvia producida por un rayo cósmico primario de las

Palabras clave: rayos cósmicos - física de altas energías - astrofísica.

Ingomar Allekotte

Doctor en Física del Instituto Balseiro (IB).
Profesor Adjunto del IB. Jefe de detectores de superficie del Observatorio Pierre Auger.
Centro Atómico Bariloche (CNEA) e Instituto Balseiro (Univ. Nac. de Cuyo)
8400 San Carlos de Bariloche
ingo@cab.cnea.gov.ar

Mariano Gómez Berisso

Doctor en Física del Instituto Balseiro (IB).
Docente del IB. Trabaja en detección y análisis de los datos del Observatorio.
Centro Atómico Bariloche (CNEA) e Instituto Balseiro (Univ. Nac. de Cuyo)
8400 San Carlos de Bariloche
berisso@cab.cnea.gov.ar

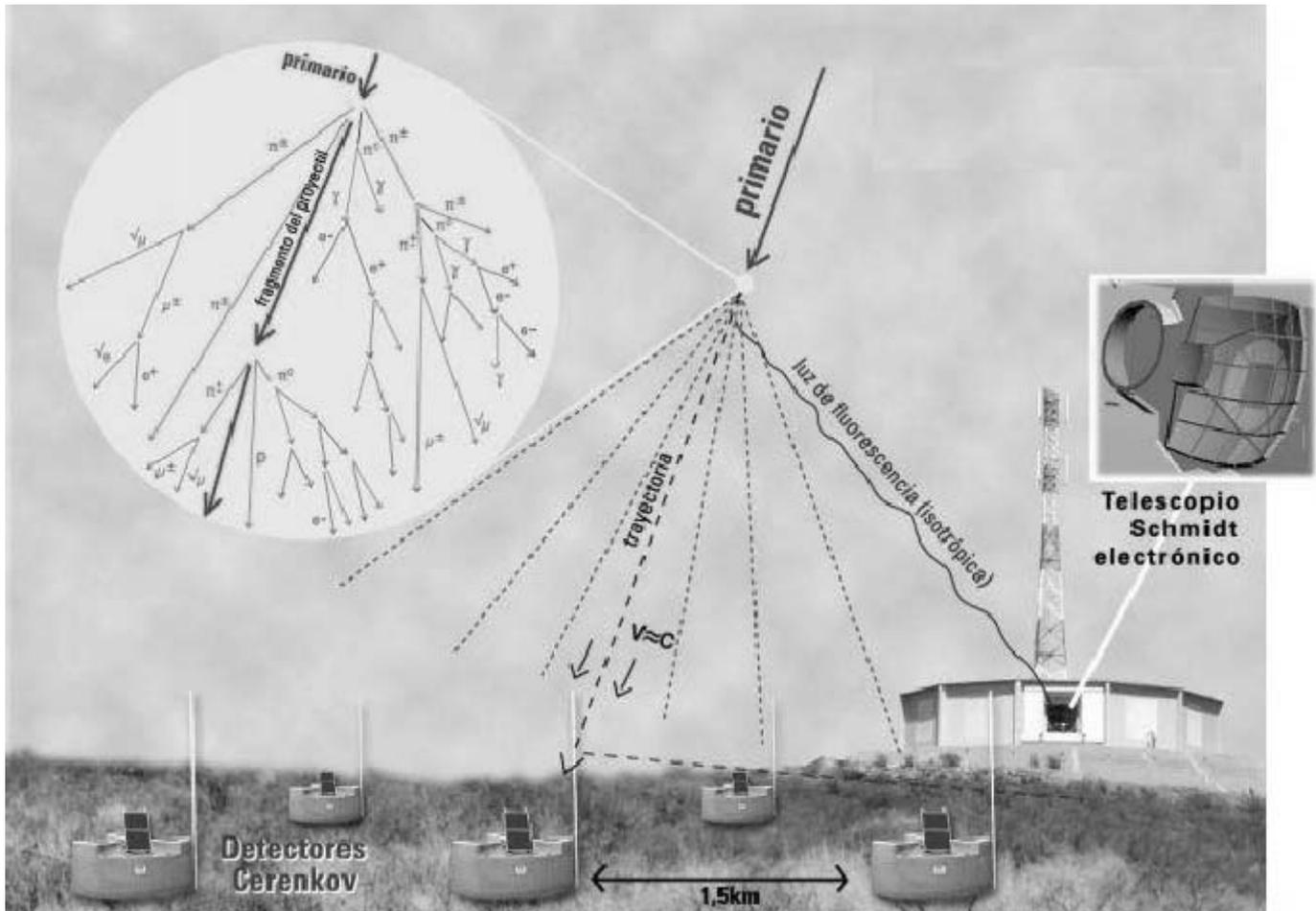


Fig. 1: Esquema de una lluvia atmosférica y el detector híbrido.

máximas energías puede expandirse hasta distancias de varios kilómetros. Pero las colisiones con las moléculas de aire también producen la absorción de algunas de las partículas secundarias. Por lo tanto existe una altura óptima, a la cual la cantidad de partículas en la lluvia atmosférica es máxima.

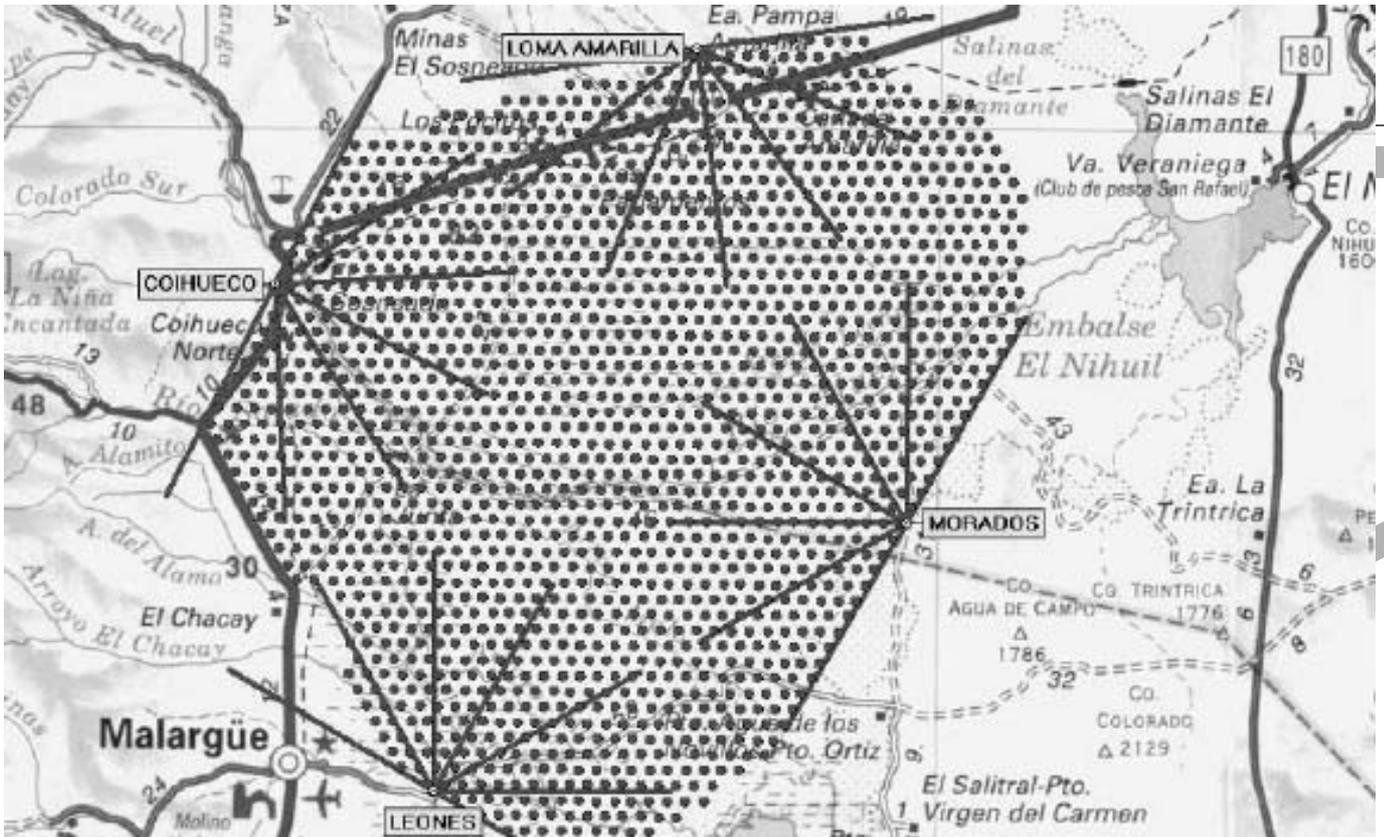
¿CÓMO SE PUEDEN OBSERVAR LOS RAYOS CÓSMICOS?

El problema de la observación de los rayos cósmicos se reduce entonces a la detección y al análisis de estas lluvias de partículas. Para ello, existen dos métodos complementarios: los así llamados detectores de fluorescencia y los arreglos de detectores de superficie.

El método de la fluorescencia es tal vez el más simple de comprender, ya que se basa en un proceso físico análogo al de un elemento de la vida cotidiana: los tubos de iluminación fluorescentes. En un tubo fluorescente, partículas cargadas (en este caso electrones) son acelerados en el interior de un tubo que contiene un gas. Al chocar los electrones contra las moléculas del gas, éstas acumulan energía que luego es liberada en forma de luz. En el caso de las lluvias atmosféricas, el equivalente al "tubo" es toda la atmósfera, que produce una tenue luz ultravioleta cuando es atravesada por las veloces partículas de la

lluvia. Debido a que esta luz es tan tenue, los detectores de rayos cósmicos basados en la técnica de fluorescencia requieren de grandes espejos para recolectar la luz producida por la cascada atmosférica. El experimento pionero en esta tecnología fue llamado "Fly's Eye" (porque los telescopios tienen una cierta similitud con la visión segmentada de las moscas) y comenzó su operación en el desierto de Utah, USA, en los años 70.

El método alternativo, que fue empleado exitosamente en experimentos realizados en USA, Japón, Gran Bretaña, Rusia, Bolivia, Tíbet, Australia y Alemania, se basa en detectar las lluvias de partículas cuando llegan a la superficie terrestre. Recordemos que la extensión horizontal de una lluvia es de varios kilómetros. Imaginemos entonces un arreglo de detectores, que pueden registrar el paso de las partículas que componen la lluvia, emplazados sobre la superficie terrestre, separados entre sí por centenas de metros. Entonces, una única lluvia, si es suficientemente energética, va a activar a varios detectores simultáneamente. Existen varios tipos de detectores de superficie, entre ellos los denominados "detectores Cherenkov", que consisten en grandes tanques de agua, herméticamente cerrados. Cuando las veloces partículas que componen un chubasco



atravesan uno de estos tanques de agua, se frenan produciendo una tenue luminosidad (conocida como radiación Cherenkov) que puede ser detectada con sensores de luz sensibles que miran al interior del tanque.

Una vez detectada la lluvia, a partir de los tiempos de arribo de las partículas a los detectores es posible inferir la dirección de arribo del rayo cósmico primario, con una sorprendente precisión de un grado. Asimismo, a partir de la cantidad de luz producida en cada uno de los detectores es posible calcular la energía del rayo cósmico primario.

¿QUÉ ES EL "OBSERVATORIO PIERRE AUGER"?

Si bien se han realizado diversas experiencias con rayos cósmicos y se han estudiado lluvias atmosféricas en los más remotos lugares del mundo, en todas ellas resultó muy difícil (o prácticamente imposible) detectar rayos cósmicos de las más altas energías. Como hemos mencionado, son muy pocas las partículas tan energéticas que llegan a la Tierra. Para poder observar una cantidad apreciable de ellas en un tiempo suficientemente corto, digamos unas 30 por año, lo que equivale a una cada 10 días, es necesario construir un arreglo de detectores que abarque unos 3000 km². El experimento AGASA de Japón, con detectores desparramados sobre una superficie de 100 km², sólo detectó 12 rayos cósmicos de ultra alta energía, a lo largo de sus diez años de operación. Con todos los experimentos que se han realizado hasta el presente

se han detectado en total una veintena de rayos cósmicos de ultra alta energía, lo cual es una cantidad suficiente para saber de su existencia, pero no es un conjunto lo suficientemente significativo para estudiar sus propiedades y comprender sus orígenes.

El "Observatorio Pierre Auger" tiene precisamente ese objetivo: detectar los rayos cósmicos más energéticos, cubriendo un área de 3000 km² y empleando las dos técnicas complementarias: de fluorescencia y un arreglo de detectores de superficie. Una vez finalizada la construcción, en 2006, el Observatorio tendrá 1600 detectores Cherenkov distanciados 1,5 km entre sí. Para observar el paso de las lluvias por la atmósfera se emplearán 24 telescopios de fluorescencia, distribuidos en cuatro edificios ubicados en la periferia del arreglo de superficie (ver Figuras 2 y 3).

¿Y POR QUÉ RESULTA INTERESANTE ESTUDIAR LOS RAYOS CÓSMICOS?

En la antigüedad, el estudio del cosmos estaba limitado a la observación del movimiento aparente de los cuerpos celestes, como las estrellas, los planetas y cometas. Con el advenimiento de los telescopios fue posible un estudio más detallado de la luz emitida por los objetos celestiales, así se pudieron analizar bandas de absorción características en la luz emitida por estrellas, estudiar el medio interestelar o la variabilidad en la intensidad luminosa de estrellas y se descubrieron nuevos objetos, como galaxias lejanas y púlsares.

Fig. 2: El "Observatorio Pierre Auger": los 1600 puntos indican detectores de superficie, separados 1,5 km entre sí. Los cuatro edificios de telescopios de fluorescencia se encuentran en cuatro elevaciones, denominadas Los Leones, Coihueco, Morados y Loma Amarilla. Las líneas indican los ángulos de visión de los seis telescopios instalados en cada uno de estos edificios.

Pero limitarse a estudiar el cosmos en base a la luz visible que emiten sus objetos es tal vez comparable a un examen médico a simple vista. Hoy en día existen métodos sofisticados, como los rayos X, la tomografía, la resonancia magnética, etc., que nos permiten obtener información complementaria e incluso nos brindan conocimientos sobre el interior del organismo. Análogamente, es posible estudiar el cosmos exterior de manera mucho más amplia que simplemente mirando la luz visible. Desde la segunda mitad del siglo pasado la astronomía ha efectuado un salto cualitativo importante al incorporar instrumentos que permiten observar radiación de rayos X, infrarroja y radiación gamma. Estos avances fueron posibles en gran medida gracias al advenimiento de los satélites de observación

Tierra, eso no nos aporta información exacta sobre el lugar donde fueron producidos. Al contrario, se cree que los rayos cósmicos de las más altas energías no se desvían apreciablemente en los campos magnéticos galácticos y extragalácticos. Por lo tanto, conocer sus direcciones de arriba nos debería brindar información sobre su lugar de origen.

Pero hay un motivo adicional de interés en los rayos cósmicos de las más altas energías, ya que el solo hecho de su existencia en la Tierra desafía a todas las teorías astrofísicas actuales. Según el conocimiento actual de nuestro cosmos, el universo debería ser "opaco" a los rayos cósmicos ultra energéticos. Si realmente fuera así, sólo serían visibles los rayos cósmicos provenientes de regiones cercanas a nuestra galaxia. Pero entonces deberían ser visibles las fuentes, lo que no parece ser el caso en los pocos rayos cósmicos observados hasta el presente.

Comprender cuál es el origen de los rayos cósmicos ultra energéticos y cuál es su mecanismo de propagación por el cosmos nos proveerá de información que podrá servir para el desarrollo de nuevas teorías científicas sobre el origen y la evolución del cosmos o para comprender mejor las partículas elementales que constituyen nuestro universo.

Puede encontrarse información actualizada sobre el Observatorio Pierre Auger en www.auger.org.ar



Fig. 3: Uno de los primeros detectores Cherenkov instalados en el campo. Cada detector contiene 12.000 litros de agua ultra pura, tres detectores fotosensibles y la electrónica asociada. El panel solar provee de energía a la unidad.

astronómica, que tienen la ventaja de que están más allá de la atmósfera terrestre.

Así como es posible obtener información del cosmos a partir de la luz (radiación electromagnética) de distintas longitudes de onda, los rayos cósmicos provenientes del espacio exterior también tienen algo para decirnos sobre lo que sucede allí afuera. Sólo que los rayos cósmicos de bajas energías son desviados por los campos magnéticos de nuestra galaxia, y por lo tanto, aún si conocemos la dirección de arriba a la

Lecturas sugeridas

- Allekotte, I. y Harari, D. 2002 Un desafío cósmico para el Observatorio Auger. *Ciencia Hoy* 12 (71): 49.
- Etchegoyen, A. y Filevich, A. 1996. Las Mayores Energías de la Naturaleza. *Ciencia Hoy* 6 (35): 21.
- Clay, R. y Dawson, B. 2000. *Balas Cósmicas*. Ed. Reverté
- Romero, G. E. y Combi, J. A. 1998. Los rayos cósmicos galácticos. *Ciencia Hoy*, 8 (48): 22.