

# Rayos gamma y rayos cósmicos: los mensajeros de un Universo violento

Dra. Mariana Orellana

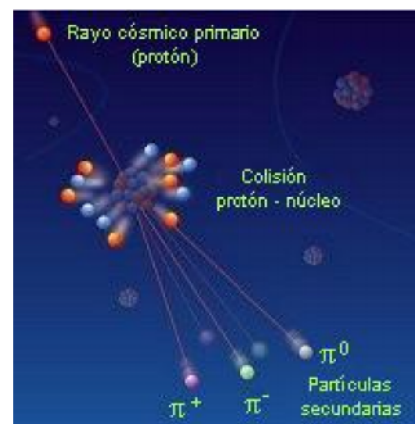
Con un millón o más de veces la energía de los fotones de la luz visible, los rayos gamma son, y por mucho, la forma de radiación electromagnética más energética, y a su vez, los más difíciles de hallar. Puesto que son incapaces de atravesar la atmósfera de la Tierra, normalmente han sido detectados desde el espacio, requiriendo diferentes técnicas específicas de cada rango de energías<sup>1</sup>. Durante las dos últimas décadas la astronomía de rayos gamma ha evolucionado en forma espectacular, a la par de los avances tecnológicos en el desarrollo del instrumental adecuado.

No haremos aquí un recuento histórico detallado, sin embargo, no podemos dejar de mencionar al Observatorio Compton de Rayos Gamma (CGRO por su sigla en inglés) que ha marcado uno de los hitos de la astronomía gamma. Fue la mayor carga destinada a la astrofísica que había volado en ese tiempo (17 kg, año 1999). Tras superar con creces el tiempo de vida que se esperaba (cuatro años) falló uno de sus giroscopios, por lo que la NASA se vio obligada a estrellarlo controladamente sobre el Océano Pacífico el año 2000. Los resultados obtenidos por uno de sus instrumentos, llamado EGRET, nos presentaron una visión del cielo a energías mayores que 100 MeV, plagada de fuentes enigmáticas que no podían identificarse fácilmente con objetos astronómicos conocidos.

El satélite Fermi es el sucesor del CGRO en la actualidad y gracias a la incorporación de detectores de silicio ha logrado una mejoría en sensibilidad de alrededor de un orden de magnitud respecto de su predecesor. Esto le ha permitido obtener, con sólo un poco más de 2 años en vuelo, descubrimientos fundamentales para la identificación de las diferentes poblaciones de emisores de rayos gamma.

Una de las principales dificultades para la detección de radiación gamma se debe a su capacidad de interacción con los gases de la atmósfera (y con materia en general): los fotones son absorbidos pero su contenido energético, como en toda reacción natural, debe conservarse. Como resultado de la absorción de fotones gamma se da la creación (o a veces llamada materialización) de un par formado por una partícula y su correspondiente antipartícula, siendo el canal más probable el de los pares electrón-positrón. Estas partículas heredan la energía del fotón gamma y por tanto se mueven a una velocidad muy alta, tanto que emiten nuevos fotones gamma de energía ligeramente menor a la del gamma original, esto se repite y en un efecto de cascada o lluvia se pueden dar muchas generaciones de este tipo. Las partículas que forman las cascadas se pueden medir con distintos tipos de detectores de partículas, generalmente basados en la ionización de la materia o en el efecto Cherenkov.

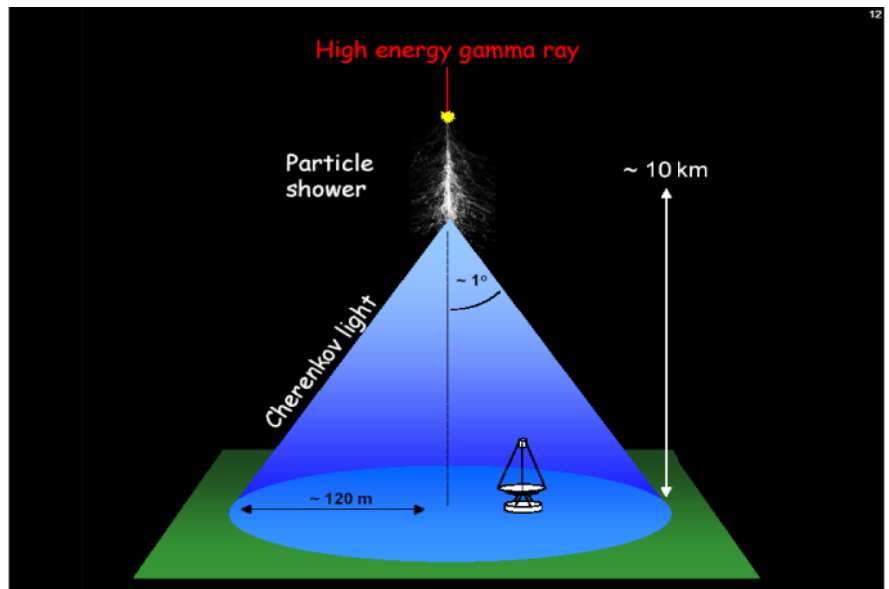
Tales efectos son fácilmente enmascarados por los que provoca el constante bombardeo de la atmósfera por los rayos cósmicos, que en realidad no son rayos, sino partículas con una energía elevada debido a su gran velocidad, cercana a la velocidad de la



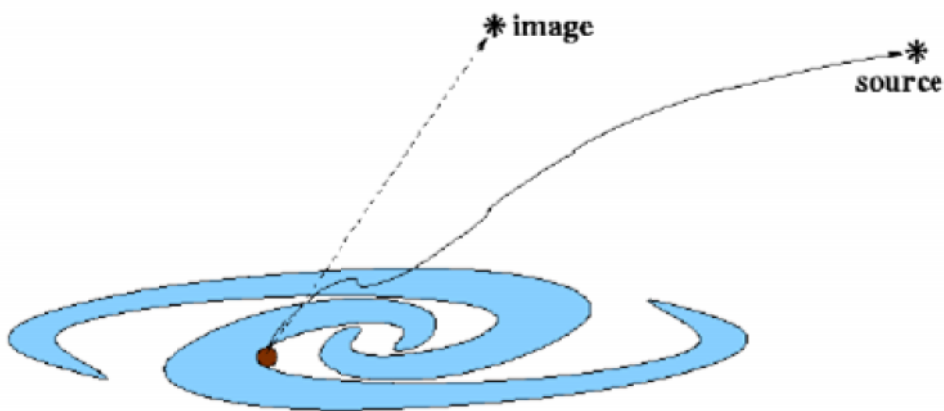
<sup>1</sup>Este es uno de los motivos por los cuales se subdivide al espectro gamma en varias bandas. Altas energías son de entre 30 MeV a 30 GeV, muy altas entre 30 GeV y 30 TeV, ultra altas energías entre 30 TeV y 30 PeV, energías extremas > 30 PeV. Las unidades son múltiplos del electrón-Volt y corresponden a 1 MeV = 10<sup>6</sup> eV, 1 GeV = 10<sup>9</sup> eV, 1 TeV = 10<sup>12</sup> eV, 1 PeV = 10<sup>15</sup> eV.

luz. Nuestro planeta recibe constantemente esta lluvia de partículas cargadas. Cada segundo 10000 partículas por metro cuadrado golpean las capas más exteriores de la atmósfera terrestre. Este flujo consiste en un 90% de protones, 9% partículas alfa y el resto son núcleos más pesados que el hidrógeno, como ser núcleos de carbón, oxígeno, hierro, calcio, y otros tipos de átomos. Incluso, un número pequeño de rayos cósmicos son electrones.

Los rayos cósmicos fueron descubiertos por el físico Austríaco-Americano, Victor Hess. En 1912, Hess estableció que la ionización atmosférica aumenta con la altitud, y concluyó que la “radiación” que la origina debía proceder del espacio exterior lo que le valió el premio Nobel de Física del año 1936. En años posteriores los rayos cósmicos fueron



estudiados utilizando cámaras de destellos que permiten trazar la trayectoria y distinguir entre diferentes tipos de partículas cargadas que, ya que éstas, en presencia de un campo magnético, son desviadas de una trayectoria recta. Lo mismo ocurre con los rayos cósmicos durante su propagación hasta la tierra, y por lo tanto no son convenientes para las observaciones astronómicas, como lo ilustra este esquema: se utilizan en cambio los fotones que viajan directamente desde la fuente, o alternativamente se planea el uso de neutrinos.



El siguiente gráfico muestra el espectro (distribución en función de la energía) del flujo de rayos cósmicos que llegan a la atmósfera, al cual se ha denominado “la pierna”. Cuanto mayor la energía de las partículas menos abundantes son.

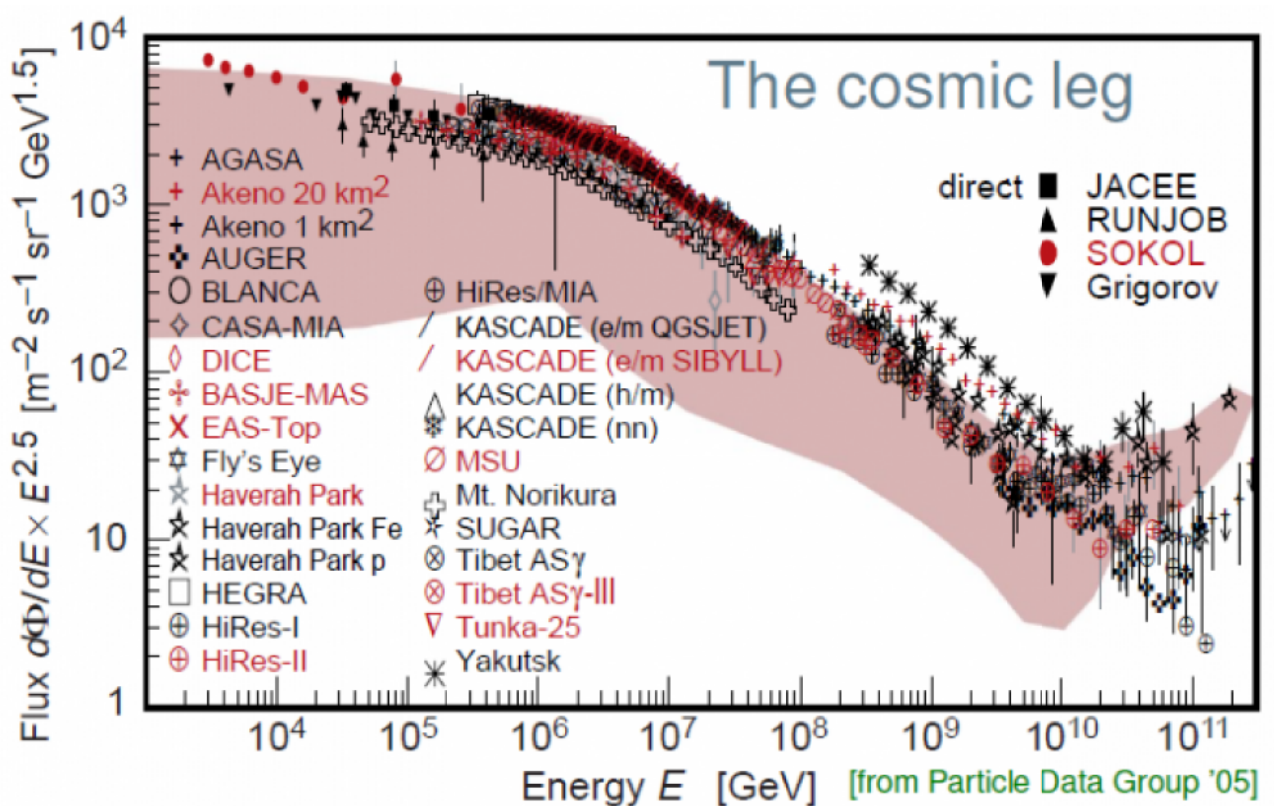
La colaboración Auger, que incluye a 370 científicos e ingenieros de 17 países, ha desarrollado un experimento situado en la ciudad de Malargüe, en la provincia de Mendoza, Argentina, con la finalidad de rastrear la lluvia de rayos cósmicos de ultra-altas energías (cerca de  $10^{20}$  eV, los dedos del pie) y que son los menos deflectados por campos magnéticos de gran escala (extragaláctico).

Información sobre Fermi se encuentra en <http://fermi.gsfc.nasa.gov/>

Estos valores corresponden a unas cien millones de veces la energía que se puede impartir a una partícula subatómica en los más potentes aceleradores de partículas construidos hasta hoy.

Podemos ver de la figura que en este rango de energías extremas, los números son exiguos: sólo un rayo cósmico golpea en un kilómetro cuadrado de la Tierra aproximadamente cada siglo. Por esta razón el experimento Auger fue diseñado para abarcar un área muy grande, 30000 km<sup>2</sup>, en la cual se distribuyen los detectores. Estos se construyen dentro de unos tanques de agua especiales. Ver <http://visitantes.auger.org.ar/>

Acelerar rayos cósmicos hasta energías tan altas como las que se observan, requiere condiciones astrofísicas muy particulares. Los físicos del Auger encontraron que en el extremo del espectro los rayos cósmicos no provienen igualmente de todas las direcciones del espacio, sino que al parecer, se originan en los núcleos de galaxias activas más cercanas, más concretamente las radiogalaxias.



La mayoría de los rayos cósmicos de menor energía que llegan a la Tierra provienen de algún sitio dentro de nuestra galaxia, lugares donde la aceleración natural de partículas puede explicarse a través del mecanismo propuesto por Enrico Fermi en 1949. Dicho mecanismo es particularmente efectivo en grandes frentes de choque, como los que causan los restos de las estrellas que explotan en eventos de supernova (ref. <http://www.iar.unlp.edu.ar/boletin/bol-mar11.htm#4>). Cálculos precisos muestran que este proceso permite acelerar protones hasta energías de unos 10<sup>15</sup>eV y que el espectro resultante tiene la forma observada por debajo de la rodilla.

Los rayos cósmicos con energías intermedias pueden también provenir, en menor cantidad, de objetos astronómicos caracterizados por tener campos magnéticos de gran intensidad o muy extensos. Lugares en fin que también se espera sean fuentes de radiación gamma. (Es por eso que

hemos unido los dos conceptos en este artículo!), una componente de rayos cósmicos menos energéticos es aportada por el sol. Debido a su alta energía, este tipo de “radiación de partículas” puede ser peligrosa para las personas y equipos. En Tierra estamos protegidos de ellos por el campo magnético y la atmósfera de nuestro planeta.

En el Grupo de Astrofísica Relativista y RadioAstronomía del IAR se han venido desarrollando estudios relacionados con las fuentes recientemente detectadas de rayos gamma, modelos para las mismas se complementan con la mayor información posible recopilada a lo largo de todo espectro electromagnético. Los modelos incluyen el mayor detalle posible en cuanto a los procesos que afectan a los rayos cósmicos responsables de la emisión.