Trabajo de investigación de tercer ciclo

Búsqueda de explosiones de rayos gamma de muy alta energía con el detector AIROBICC

Luis Padilla Visdómine

Dirigido por:

Victoria Fonseca González

Septiembre 1996

Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear
Facultad de Ciencias Físicas
Universidad Complutense de Madrid

1. Introducción

El presente trabajo reúne dos campos de activa investigación y en pleno desarrollo. Por una parte el tema de las explosiones de rayos gamma (*gamma ray bursts*) es uno de los grandes misterios que persisten en el campo de la Astrofísica y que levanta los más apasionados debates entre los partidarios de teorías opuestas. Hace casi 30 años que se descubrieron y no obstante hoy en día sabemos con seguridad poco más que entonces pese a disponer de casi dos millares de ellos registrados. Quizá se trate del fenómeno que más cueste a la Astrofísica moderna explicar. Prueba del interés que han despertado en la comunidad científica internacional es la gran cantidad de publicaciones sobre el tema que aparecen cada año en las revistas especializadas. Existe una intensa actividad en la creación de modelos teóricos que expliquen las características observadas y que predigan otras aún por observar. De hecho existen más de cien modelos originales y lamentablemente sólo una pequeña parte de ellos pueden ser desechados con los conocimientos actuales. Quizá aún más significativo que esta febril actividad es la cantidad de dinero invertida en la investigación experimental del tema. Desde su descubrimiento no hay satélite o sonda espacial que no porte detectores de transitorios de rayos γ de gran aceptancia angular para permitir el descubrimiento de las explosiones, la medida de sus parámetros como duración, intensidad, espectro y localización, que puede ser bastante precisa mediante triangulación cuando hay varios observadores separados. Ésta última es de vital importancia para el avance en el conocimiento del fenómeno. Si bien los rayos γ no son capaces de hacernos penetrar más en el tema, quizá lo hagan otras longitudes de onda del espectro electromagnético. En particular, la observación en múltiples rangos de energía cuando la fuente está aún activa o en proceso de "enfriamiento" puede resultar especialmente útil, razón por la cual se ha desarrollado un sistema de alerta en tiempo casi real que en escasos minutos puede alertar a todos los observatorios del mundo para que orienten sus detectores hacia la fuente. En la Sección 2 se expone el panorama actual, teórico y experimental, de la investigación en las explosiones de rayos gamma, poniendo especial interés en aquellas características que afectan a la observación por parte de detectores de muy alta energía como AIROBICC.

El segundo campo que afecta a este trabajo es el de los rayos cósmicos. Si bien este tema está mucho más desarrollado y es mejor conocido, en parte por su mayor antigüedad, más de 80 años, el origen y la detección de la componente más energética son materias mucho más inciertas. La existencia de partículas con energías de 10^{20} eV, 100 millones de veces mayor que la conseguida en los aceleradores más potentes, sorprendió a los científicos. Sencillamente no había manera de explicar cómo podía adquirir semejante energía una partícula. La investigación experimental sistemática de la radiación cósmica de muy alta energía y de ultra alta energía comenzó en los años 50 con la primera generación de detectores, consistentes en matrices de centelleadores que permitían la reconstrucción de la dirección de incidencia de la partícula a través del muestreo de los tiempos de llegada del frente de partículas de la cascada atmosférica iniciada por el primario. La actividad en este campo disminuyó después de los primeros y desalentadores resultados que mostraban una perfecta isotropía en la distribución de los rayos cósmicos energéticos. Esto es debido a que los campos magnéticos galáctico e intergaláctico alteran la dirección de las partículas con carga hasta el punto de hacerlas parecer isótropas, borrando así la información sobre sus fuentes, acerca de las cuales sólo se puede especular. La presencia de señales debidas a partículas neutras como los fotones, quedaba enmascarada por el sobreabundante fondo de partículas cargadas. El campo se reactivó en los años 80 con la detección de una señal en el rango de 10^{15} eV por el grupo de Kiel que fue confirmada por otros experimentos y con el desarrollo de los detectores de segunda generación basados en la detección de la luz Cherenkov producida por las partículas energéticas de las cascadas. Esta generación de detectores ya ha proporcionado resultados positivos y en la actualidad se trabaja en el desarrollo de una tercera generación que permita ampliar el rango energético de las observaciones hasta enlazar con los satélites (proyecto MAGIC) y alcanzar las energías más elevadas (proyectos AUGER y MASS). En la Sección 3 se muestra el desarrollo del estudio de la radiación cósmica así como el estado actual del campo, haciendo especial énfasis en la componente más energética y su detección.

En el resto de este trabajo se entra de lleno en la parte experimental que le afecta directamente. En la Sección 4 se presenta el experimento HEGRA y se describe su funcionamiento, con particular detalle en el caso del detector AIROBICC, que es el que ha tomado los datos que se analizan en este trabajo.

HEGRA es uno de los experimentos que fueron propulsados por la señal del grupo de Kiel. Comprende un detector de primera generación como es la matriz de centelleadores, varios de segunda como son los telescopios Cherenkov y un prototipo, AIROBICC, que puede considerarse como intermedio entre los dos anteriores. El proceso de reconstrucción de los datos primarios es explicado en la Sección 5.

El método original de búsqueda de explosiones de rayos gamma empleado en este trabajo es descrito en la Sección 6 y sus resultados son mostrados en la Sección 7. Finalmente la Sección 8 resume el trabajo y presenta los pasos futuros a seguir.

La Sección 9 contiene la bibliografía básica que ha permitido la elaboración de este trabajo, mientras que la Sección 10 incluye referencias bibliográficas que pueden ser de utilidad para la mayor profundización de los temas tratados.

Por último, en las Secciones 11, 12 y 13 se han incluido sendos apéndices, el primero describe trabajo adicional del autor en el desarrollo de nuevas mejoras del detector AIROBICC; el segundo relaciona las personas e instituciones que forman la colaboración HEGRA y el tercero menciona las publicaciones a las que el presente trabajo ha dado lugar.

2. Explosiones de rayos gamma

Las explosiones de rayos gamma, más conocidas por su denominación inglesa *gamma ray bursts* (abreviado GRBs, designación que usaremos en adelante), fueron descubiertas accidentalmente en 1967 aunque no fueron anunciadas hasta seis años después [42]. El descubrimiento se produjo con un conjunto de detectores de centelleo instalados en cuatro satélites de la serie VELA con el propósito de vigilar violaciones del tratado internacional sobre pruebas nucleares. El incremento súbito de la tasa de detección de fotones en el rango 0.2 - 1.5 MeV[1] en al menos dos de los satélites era una señal inequívoca de una explosión de rayos gamma. El retraso en la señal entre los distintos satélites (medido con una precisión de 0.05 segundos) permitía una localización bastante deficiente de la posición de la explosión, pero suficiente para descartar la Tierra como su origen.

La primera publicación sobre el descubrimiento de los GRBs, en 1973 [43], daba cuenta de 16 GRBs ocurridos entre Julio de 1969 y Julio de 1972 en los que la Tierra y el Sol estaban descartados como origen, también incluía otro GRB cuya procedencia parecía ser el Sol (ver Figura 2.1). A partir de este anuncio se despertó un lógico interés por el nuevo fenómeno y se diseñaron experimentos en todo el mundo para estudiarlo. Éstos se desarrollaban principalmente abordo de satélites y globos, pudiéndose mencionar los experimentos KONUS [44], SIGNE [45][46], ISEE-3 [47][48], SMM [49], HEAO-1 [50], PVO [51], GINGA [52], SIGMA [53], BATSE [54][55] y WATCH [56].

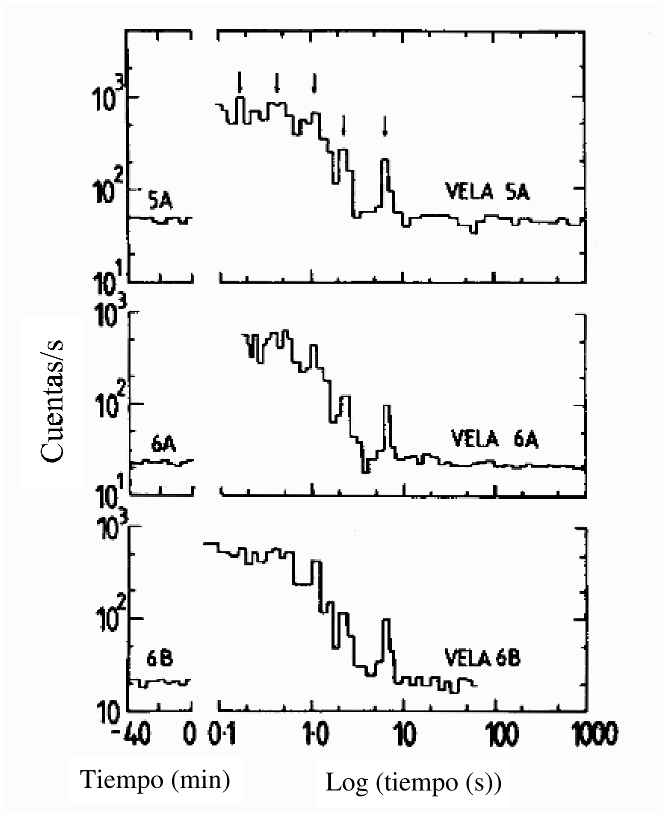

Figura 2.1: Cuentas por unidad de tiempo registradas por los satélites VELA para uno de los primeros GRBs detectados. Las flechas indican estructuras comunes. Figura tomada de [4].

[1] Generalmente se denomina rayo gamma a aquel fotón con energía superior a algunos cientos de keV, pero en el campo de los GRBs, por conveniencia, se consideran rayos gamma los fotones con energías por encima de unos 20 keV. 1 eV = $1.6 \cdot 10^{-19}$ Julios.