



## Recientes avances en la clasificación de explosiones de rayos gamma cortas en astrofísica



**Andrés Baquero Larriva** 

Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Av. 24 de Mayo 7-77 y Hernán Malo, Cuenca, Ecuador.

Autor para correspondencia: obaquero@uazuay.edu.ec

Fecha de recepción: 2 de agosto 2016 - Fecha de recepción: 31 de octubre 2016

### RESUMEN

Las explosiones de rayos gamma (también conocidas como GRBs por sus siglas en inglés: Gamma-ray Bursts) han sido un enigma desde su descubrimiento hace más de 40 años. Son los eventos explosivos más energéticos del universo después del Big Bang y se dan a distancias cosmológicas. El presente artículo explora el conocimiento alcanzado sobre estos fenómenos astrofísicos, en la última década, ya que se ha logrado un gran avance en el entendimiento y esclarecimiento de algunos de sus procesos físicos intrínsecos, gracias a los adelantos teóricos, observacionales y de instrumentación. Investigaciones recientes proponen la existencia de al menos un nuevo tipo de GRB, lo cual modificaría la concepción, que en la actualidad tenemos sobre su clasificación y la asignación de sus progenitores.

**Palabras clave:** Explosiones de rayos gamma, GRB, astrofísica.

### ABSTRACT

Gamma-ray Bursts (GRBx) have been an enigma since its discovery more than 40 years ago. They are the most energetic events of the universe after the Big Bang and take place at cosmological distances. This article explores the progress in knowledge which has been achieved in the last decade, as the advances in knowledge resulted in a dramatic breakthrough in the understanding and clarification of some of their intrinsic physics processes, thanks to the theoretical, observational and instrumentation advances. Recent investigations suggest the existence of at least one new type of GRB, which would change the concept we currently have on their classification and the assignment of their progenitors.

**Keywords:** Gamma ray-bursts, GRB, astrophysics.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ráfagas de rayos gamma son explosiones cortas e intensas de rayos gamma que han llamado la atención de los astrofísicos desde su descubrimiento en la década del 60, del siglo pasado. En los últimos años muchas misiones espaciales como BATSE, en el observatorio de Rayos Gamma Compton, el satélite espacial HETE II, el satélite de rayos X BeppoSAX, el observatorio espacial FSSC (Fermi Science Support Center), el telescopio espacial Swift de la NASA, conjuntamente con observatorios ópticos en tierra, infrarrojos y de radio han revolucionado nuestro entendimiento sobre los GRBs. Se ha demostrado que éstos se dan a distancias cosmológicas y que vienen acompañados por una luminosidad residual en radiaciones de menor energía, típicamente de rayos X (Piran, 2004).

Se ha establecido una clasificación canónica de GRBs gracias a un primer análisis, de una muestra representativa de estos fenómenos astrofísicos, observados por el satélite CGRO (Compton Gamma Ray Observatory). Dicho análisis reveló que los GRBs eran de origen extra galáctico y se evidenció una distribución bimodal temporal, diferenciándolos en dos clases: los GRBs largos cuya duración es



mayor a 2 segundos y los GRBs cortos con una duración menor a los 2 s (Meegan *et al.*, 1991). Además, se ha establecido una posible conexión entre duración y dureza espectral. Los GRBs cortos tienen predominantemente espectros más duros y los GRBs largos tienden a ser más suaves (Kouveliotou *et al.*, 1993). Otra diferencia identificada es que los GRBs largos muestran una transición espectral de “duro a suave” y un retraso (lag) espectral, diferencia temporal entre bandas de mayor y menor energía, propiedad que se encuentra íntimamente relacionada con los mecanismos de emisión del GRB (Zhang *et al.*, 2009), y que no se presenta en los GRBs cortos (Norris, 2002). Sin embargo, esta clasificación canónica de GRBs no es completamente aceptada ya que únicamente ha sido establecida basándose en duración y dureza espectral, sin tener en cuenta propiedades intrínsecas de los GRBs, que describan de mejor forma la naturaleza de estos eventos astrofísicos.

Observaciones recientes del telescopio espacial *Swift* han evidenciado la existencia de un posible tercer tipo de GRB con propiedades híbridas entre los cortos y largos. A este tipo de GRBs se les ha llamado inicialmente “GRBs cortos con emisión extendida” y son caracterizados por una emisión inicial corta, de hasta unos pocos segundos, seguida por una emisión extendida de menor energía que puede durar decenas de segundos (Norris & Bonnell, 2006). Además, existen nuevos estudios basados en información obtenida del telescopio espacial *Fermi*, que han propuesto la existencia de un nuevo tipo de GRBs, definidos como “GRBs cortos genuinos”, los que se caracterizan por valores muy pequeños de carga bariónica,  $B \leq 10^{-5}$ , la energía emitida en la emisión temprana es la predominante y tienen una duración característica más corta que una fracción de segundo (Muccino *et al.*, 2013).

La identificación de progenitores de GRBs ha sido un desafío para los astrofísicos debido a las inmensas distancias desde la tierra a las que se producen. Las observaciones sugieren como candidatos para los GRBs cortos a la colisión de sistemas binarios de objetos compactos como estrellas de neutrones y agujeros negros (Eichler *et al.*, 1989), aunque se ha propuesto el escenario de un colapso gravitacional de una estrella de neutrones en un sistema binario (Fox & Meszaros, 2006). Pese a esto, la identificación de progenitores asociados a GRBs cortos aún no es concluyente. Esto, debido a que las post-luminiscencias de los mismos han sido recientemente detectadas y existen muy pocas estadísticas de GRBs cortos con corrimiento al rojo conocido e identificación de sus galaxias progenitoras (Hjorth *et al.*, 2005). Los GRBs largos han sido asociados con la muerte de cierto tipo de estrellas supermasivas, supernovas tipo *Ib/Ic*, en un colapso cataclísmico de su núcleo (Woosley, 1993). Estos candidatos a progenitores han sugerido los dos modelos teóricos principales, que tratan de explicar como se producen y los mecanismos de emisión de los GRBs, los cuales son el modelo de “bola de fuego” (fireball) y el modelo de “capa de fuego” (fireshell) (Gendre *et al.*, 2013).

Aunque estos dos modelos teóricos indistintamente tratan de explicar como se producen los dos tipos canónicos de GRBs, el modelo de fireball es el más aceptado por la comunidad científica para los GRBs largos, debido a que se ajusta más a la energía típica liberada por este tipo de GRB (Piran, 2004). Este modelo teórico establece que la fuente de energía de un GRB, se debe a una súbita liberación de energía, en un proceso de colapso gravitacional, que produce un plasma leptónico (pares  $e^- + e^+$ ), cuyas colisiones internas dan lugar a una gran liberación de energía (emisión temprana), que choca con el medio circundante de la explosión y genera la post-luminiscencia típica de los GRBs largos (Cavallo & Rees, 1978; Muccino *et al.*, 2013).

El modelo de fireball establece que el espectro de los GRBs es producido por procesos sincrotrón, donde la radiación es emitida por las interacciones entre positrones, electrones y los campos magnéticos producidos por las capas relativistas causadas por la explosión (Piran, 2004). Por su parte el modelo de fireshell asume que los GRBs se originan del colapso gravitacional de un agujero negro (el cual puede producirse luego del colapso de una estrella supermasiva o colisiones en sistemas binarios de estrellas de neutrones). El plasma leptónico creado en el proceso de la formación del agujero negro se expande como una capa ópticamente opaca y esféricamente simétrica, con un ancho constante, conocida como “fireshell”, en el marco de referencia del laboratorio, es decir, el marco de referencia en el que el agujero negro está en reposo (Ruffini *et al.*, 2001). Toda la energía restante, luego de alcanzar la transparencia de la capa, es producida por la interacción de la capa ópticamente opaca y el medio circundante a la explosión, a esta emisión se le conoce como post-luminiscencia extendida (Bianco *et al.*, 2008).

Además, se tienen únicamente dos parámetros libres que caracterizan a la fuente en el modelo de fireshell;  $E_{e^\pm}^{tot}$ , la energía total de los  $e^\pm$  del plasma y  $B = \frac{M_B C^2}{E_{tot}}$ , la carga bariónica del plasma, donde

$M_B$  es masa total de bariones (Ruffini *et al.*, 2001). Estos dos parámetros determinan completamente la fase de aceleración de la capa ópticamente gruesa, que dura hasta que la condición de transparencia es alcanzada y se da la emisión propia del GRB o emisión temprana en el modelo de fireball. Luego de esto se inicia la emisión de la post-luminiscencia debida a la colisión del remanente de la capa ópticamente gruesa “fireshell” y el medio circundante a la explosión (CBM Circum-burst medium) (Ruffini *et al.*, 2001; Bianco *et al.*, 2008). El modelo de fireshell ha sido más utilizado para las propuestas de clasificación de GRBs cortos ya que predice la existencia de “GRBs cortos con emisión extendida” (Norris & Bonnell, 2006) y los “GRBs cortos genuinos” (Muccino *et al.*, 2013), los cuales no están contemplados en la clasificación canónica de GRBs (Kouveliotou *et al.*, 1993).

Como se ha evidenciado en esta introducción al artículo, no existe un consenso total sobre la identificación de progenitores, modelos teóricos y clasificación definitiva de los GRBs ya que no se ha logrado alcanzar un entendimiento completo sobre estos fenómenos astrofísicos. En este artículo describiremos algunas de las propiedades encontradas en las observaciones de los GRBs cortos, se revisará la clasificación actual y las nuevas investigaciones que proponen la existencia de un nuevo tipo de GRBs cortos, lo cual modificará la concepción que en la actualidad tenemos sobre su clasificación.

## 2. PROPIEDADES DE LOS GRBs

### 2.1. Emisión temprana

Los GRBs no consisten únicamente de emisiones de rayos *Gamma*, además vienen acompañados generalmente por emisiones de rayos *X* y de radiación de menor energía. La *emisión temprana* se debe a la disipación de energía cinética de un flujo relativista originado en la explosión del GRB (Vedrenne & Atteia, 2009). El espectro de las emisiones es de naturaleza no térmica, y el pico de flujo de energía va desde unos pocos cientos de *KeV* a los *GeV*; pero este espectro varía mucho de un GRB a otro. En cuanto a la estructura temporal de las emisiones, tienen una duración entre 0.01 hasta mayores a los 100 s (Piran, 2004).

### 2.2. Post-luminiscencia

Los GRBs además de la emisión temprana vienen acompañados por una post-luminiscencia en forma de una cola de radiación de menor energía, debida a la colisión del plasma relativista generado con el medio circundante a la explosión. Esta post-luminiscencia puede durar hasta algunos días por lo que han sido muy estudiadas. Este fenómeno fue observado por primera vez el 28 de febrero de 1997, por el satélite BeppoSax. Gracias a esta observación se pudo determinar que la explosión tubo lugar en una galaxia distante y se evidenció que los GRBs tienen un origen cosmológico (Costa *et al.*, 2009).

### 2.3. $T_{90}$ como medida de duración de los GRBs

La medición de la duración de los eventos cosmológicos de alta energía como los GRBs ha sido tradicionalmente difícil, ya que las medidas de duración varían entre los diferentes instrumentos de medición y son a menudo subjetivas. Lo cual ha sido particularmente un problema en el caso de los GRBs, donde los datos son recolectados por una multitud de equipos espaciales. Por lo que el equipo de colaboración de la misión espacial BATSE, introdujo el parámetro  $T_{90}$  como medida de duración de los GRBs, el cual es definido como el intervalo de tiempo desde el cual el GRB emite el 5% de su energía hasta el 95%; es decir, el 90% de fotones detectados (Koshut *et al.*, 1995).

### 2.4. Lag espectral

Una de las características de la emisión temprana en los GRBs es el lag espectral, el cual se define como el tiempo de retardo que se da en la llegada de la emisión de menor energía relativa a la emisión de mayor energía, es decir la diferencia temporal que existe entre las bandas de menor energía, rayos *X*, y las bandas de mayor energía, rayos gamma, siendo positivo cuando la banda de mayor energía arriba primero que la de menor energía (Arimoto *et al.*, 2010). Los GRBs largos muestran como propiedad intrínseca un lag espectral positivo mientras que los GRBs cortos no presentan lag espectral o tienen un

lag espectral muy pequeño o despreciable (Norris & Bonnell, 2006).

### 3. NUEVA CLASIFICACIÓN DE GRBs CORTOS

#### 3.1. GRBs cortos con emisión extendida

Como se mencionó anteriormente los GRBs se han clasificado en dos clases, largos y cortos con diferentes progenitores. Sin embargo, un estudio de Norris & Bonnell (2006) evidenciaron que las distribuciones de duración de las dos clases se sobreponen, por lo que la pertenencia de un GRB a una u otra clase, no siempre era fácil de establecer. Esto se debe a la presencia ocasional de una emisión extendida más suave luego del primer pico de emisión, predicha por el modelo de fireshell, a este tipo de explosiones se los llamó “GRBs cortos con emisión extendida” (Norris & Bonnell, 2006; Caito *et al.*, 2010). Este tipo de GRBs comprende dos componentes espectrales, la primera componente espectral es dura y su duración es usualmente menor a 5 s, mientras que la segunda componente espectral es más suave y duración de hasta 100 s. Por lo tanto, la duración,  $T_{90}$  y subsecuente clasificación de estos GRBs depende de la brillantez y dureza de las componentes espectrales de la emisión extendida (Bostanci *et al.*, 2013).

Un ejemplo de este tipo de GRBs es la explosión de rayos gamma GRB060614, la cual fue observada por el telescopio espacial Swift. Fue un evento largo ( $T_{90} = 102$  s), en un rango de energía de 15-350 KeV. Se identificó un pico corto duro con una duración menor a 5 s y una emisión extendida con una duración de  $\sim 100$  s, la cual era 5 veces más energética que el pico corto. Se encontró además que, aunque este era un GRB de larga duración, su lag espectral y luminosidad pico eran típicos de la clase de GRBs cortos. Así mismo no se encontró asociación alguna con una supernova, aunque su corrimiento al rojo fue  $z = 0.125$ , lo que lo localizó cerca a una galaxia con formación estelar. Basándose en su espectro, el telescopio espacial BATSE, podría identificarlo, al GRB060614, con una  $T_{90}$  mucho más corta debido a que su componente extendida es muy suave y BATSE es únicamente sensible a energías ligeramente superiores a 30 KeV. Por lo tanto, la combinación de propiedades de GRBs cortos y largos de esta explosión exige una nueva clase de GRBs, la cual puede comprender un escenario de progenitor diferente a los que actualmente se aceptan en los modelos físicos para GRBs cortos y largos (Bostanci *et al.*, 2013; Gehrels *et al.*, 2006). Esta emisión extendida del GRB060614 podría deberse a la actividad prolongada del mecanismo central de la explosión; sin embargo, la escala de tiempo larga es difícil de asociar con el modelo de fusión de sistemas de estrellas de neutrones binarios, mientras que, al no existir una asociación con supernova, no concuerda con el modelo del colapso de estrellas supermasivas.

En 2013, Bostanci *et al.* realizaron una búsqueda sistemática de GRBs similares al GRB060614 usando el archivo de datos de explosiones de rayos gamma de BATSE para identificar GRBs con emisión extendida que podrían constituir una posible nueva clase de estos eventos astrofísicos. A bordo del observatorio de Rayos Gamma Compton (CGRO), BATSE detectó 2704 GRBs en las cuales  $\sim 25\%$  son clasificados como cortos por la definición tradicional de  $T_{90} < 2$  s. Utilizaron 296 GRBs de BATSE e identificaron un total de 19 GRBs que mostraban una emisión extendida, de los cuales 11 son GRBs cortos y 8 fueron identificadas como largos según la definición tradicional de duración mayor o menor a 2 s. Con este estudio se estableció que existía una fracción de  $\sim 7\%$  con emisión extendida.

Investigaciones anteriores como la de Sakamoto *et al.* (2011), identificaron un  $\sim 2\%$  de GRBs con emisión extendida del segundo catálogo de GRBs cortos del telescopio Swift y un  $\sim 25\%$  del catálogo total de GRBs cortos de Swift por Norris, *et al.* (2010). Aunque estas estadísticas no son directamente comparables, ya que los criterios y los métodos utilizados para las búsquedas, así como para la selección de la muestra padre son diferentes (Bostanci *et al.*, 2013). Según estos autores la naturaleza de la emisión extendida en los GRBs puede deberse a la interacción del flujo relativista con el medio circundante a la explosión o a una actividad del mecanismo central tardía. Sin embargo, las variaciones temporales de las curvas de luz de algunas emisiones extendidas brillantes incrementan la posibilidad de que exista una actividad del mecanismo central continua.

#### 3.2. “GRBs cortos disfrazados” y “GRBs cortos genuinos”

Los GRBs cortos genuinos ocurren en el límite de una carga bariónica muy baja  $B \leq 10^{-5}$ , con una

emisión propia predominante con respecto a la post-luminiscencia extendida. Esto se debe a que para tales valores pequeños de carga bariónica, el pico de emisión de la post-luminiscencia se reduce y su flujo de energía es menor que el de la emisión temprana (Muccino *et al.*, 2013). Estos GRBs, los cuales fueron predichos teóricamente por el modelo de “Fireshell” (Ruffini *et al.*, 2001), ya que describen emisiones con el mismo mecanismo que el de los GRBs largos, pero con una carga bariónica muy baja; se caracterizan además por una significativa emisión térmica, debida a que, aunque la carga bariónica es muy pequeña no llega a ser nula. Así mismo, según Muccino *et al.* (2013), se predice una componente no térmica originada por la post-luminiscencia remanente. Estos autores realizaron en 2013 el análisis temporal y espectral del GRB 090227B, detectado por el telescopio espacial Fermi, identificando en esta explosión de rayos gamma el posible “eslabón perdido” entre los GRBs cortos genuinos y los GRBs largos, ya que este GRB muestra características híbridas entre estas dos clases de GRBs.

El modelo de “Fireshell” define dos emisiones, como se describió en la sección 2.2, una emisión propia y la post-luminiscencia, la separación típica entre estas dos emisiones es del orden de  $10^{-3}$  -  $10^{-2}$  s. Para el GRB090227B, Muccino *et al.* (2013) identificaron la emisión propia en los primeros 96 micro segundos de la emisión, donde se observó una componente térmica con temperatura  $kT = (517 \pm 28)$  keV y un flujo de energía comparable y la parte del espectro no térmico. Esta componente no térmica y su subsecuente emisión fue identificada con la post-luminiscencia. Dedujeron un corrimiento al rojo cosmológico de  $z = 1.61 \pm 0.14$ , encontrando la  $E_{e\pm}^{tot} = (2.83 \pm 0.15) \times 10^{53}$  erg, la carga bariónica  $B = (4.13 \pm 0.05) \times 10^{-5}$ , el factor de Lorentz  $\Gamma$  de transparencia  $\Gamma_{tr} = (1.44 \pm 0.01) \times 10^4$  y la duración intrínseca  $\Delta t' \sim 35$  s. Determinaron además el promedio de densidad del medio circundante a la explosión  $\langle n_{CBM} \rangle = (1.90 \pm 0.20) \times 10^{-5}$  partículas  $cm^{-3}$ . Tomando en cuenta la energía y la carga bariónica de la fuente, así como el poco denso medio interestelar circundante a la explosión y la escala de tiempo intrínseca de la señal del GRB090227B, Muccino *et al.* (2013) identificaron un sistema binario de estrellas de neutrones como su progenitor. Además, establecieron las masas de las estrellas de neutrones en  $m_1 = m_2 = 1.34M_{\odot}$ , los radios correspondientes  $R_1 = R_2 = 12,24$  km  $\pm 0,14$  y espesor de las cortezas  $\sim 0,47$  km, consistentes con los valores encontrados para la carga bariónica y el tiempo de duración del evento (Muccino *et al.*, 2013).

Ruffini *et al.* (2009) basados en el modelo de fireshell, concluyeron que existen tres posibles estructuras de GRBs canónicos, que tienen como base dos parámetros, el parámetro  $B$  de carga bariónica y la densidad del medio circundante a la explosión:

- GRBs Largos con carga bariónica de  $3.0 \times 10^{-4} \leq B \leq 10^{-2}$ . CBM con una densidad promedio  $\langle n_{CBM} \rangle \sim 1$  partículas  $cm^{-3}$ , típica de las regiones interiores de las galaxias.
- GRBs Cortos Disfrazados con la misma carga bariónica que los GRBs largos, pero con un CBM con densidad  $\langle n_{CBM} \rangle \sim 10^{-3}$  partículas  $cm^{-3}$ , típica de los halos galácticos.
- GRBs Cortos Genuinos con una carga bariónica  $B \leq 10^{-5}$ , con emisión propia dominante con respecto a la post-luminiscencia y con un CBM con una densidad  $\langle n_{CBM} \rangle \sim 10^{-5}$  partículas  $cm^{-3}$ , igualmente típica de los halos galácticos siendo el GRB090227B el primer ejemplo de esta clase de GRBs (Muccino *et al.*, 2013).

Las dos clases de GRBs cortos ocurren en los halos galácticos originados por la fusión de sistemas binarios de estrellas de neutrones o estrella de neutrones con agujero negro y se les ha atribuido el mecanismo de emisión del modelo de “fireshell” debido a que coinciden con los parámetros que este modelo predice para su carga bariónica (Muccino *et al.*, 2013).

Otras investigaciones han encontrado “GRBs cortos disfrazados”, como la realizada por De Barros *et al.* (2011) quienes hicieron un análisis de las propiedades de carga bariónica y densidad del medio circundante a la explosión del GRB 050509b basados en el modelo de fireshell, encontrando que esta explosión de rayos gamma es un ejemplo de que la clasificación canónica de GRBs es incompleta. Identificaron al GRB 050509b como un “GRB corto disfrazado”, lo que corrobora la propuesta de clasificación de GRBs de Ruffini *et al.* (2009). En 2010, Caito *et al.* realizaron un estudio del GRB 071227 al cual catalogaron como “GRB corto disfrazado” ya que su emisión temprana y post-luminiscencia coinciden con las predicciones del modelo de fireshell para “GRBs cortos disfrazados” en su carga bariónica y densidad del CBM.

#### 4. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

La identificación de progenitores, modelos físicos y clasificación de los GRBs sigue siendo un problema abierto en cuanto al entendimiento de los mismos, pese a que se han dado muchos adelantos en los últimos años, debido a recientes observaciones y estudios realizados gracias al progreso tecnológico de la instrumentación. Múltiples observaciones conducen a la identificación de dos tipos de progenitores: uno relacionado con estrellas masivas y otro ligado con objetos astrofísicos compactos (estrellas de neutrones, agujeros negros). Las observaciones sugieren que la mayoría de GRBs largos pertenecen al primer tipo de progenitor, mientras que la mayor parte de GRBs cortos pertenecen al segundo. Aunque, existen contados ejemplos de observaciones de GRBs largos que podrían tener progenitores usualmente asociados a GRBs cortos y viceversa (Norris *et al.*, 2010), por lo que no es concluyente hasta el momento esta asignación de progenitores a uno u otro tipo GRBs. Los GRBs cortos han sido mucho menos estudiados que los GRBs largos ya que muy pocas post-luminiscencias han sido detectadas de este tipo de GRBs y también ha sido muy difícil establecer sus galaxias anfitrionas, debido a esto la muestra de GRBs cortos con corrimiento al rojo conocido es insuficiente para realizar estudios concluyentes (Piran, 2004), lo cual ha dificultado las investigaciones sobre asignación de progenitores a los GRBs cortos.

El modelo de fireshell predice la existencia de GRBs cortos con una emisión extendida y comprende parámetros como la carga bariónica y densidad del medio circundante a la explosión, lo cual ha sido corroborado por distintos estudios; (Norris & Bonnell, 2006; Muccino *et al.*, 2013; de Barros *et al.*, 2011; Caito *et al.*, 2010), por lo que este modelo teórico de GRBs ha cobrado gran importancia en los últimos años, especialmente para la caracterización y estudios de clasificación de los GRBs cortos.

La clasificación canónica de GRBs largos y cortos, basada únicamente en su duración  $T_{90}$  y dureza espectral, se ha puesto en duda por recientes investigaciones (Norris & Bonnell, 2006; Bostanci *et al.*, 2013) ya que se han detectado los llamados “GRBs cortos con emisión extendida”, como el GRB060614 que tienen una duración  $T_{90} > 2$  s (en su detección por Swift), pero que muestran además propiedades típicas de GRBs cortos, como su luminosidad pico, un lag espectral muy pequeño y no se le ha podido asociar a progenitores del tipo del colapso de estrellas masivas. Teniendo en cuenta además que el mismo GRB060614 en la detección por BATSE tendría una duración  $T_{90} < 2$  s debido a que su componente extendida es muy suave. Esta combinación de propiedades de GRBs cortos y largos evidenciaría la existencia de una nueva clase de GRBs cortos.

Se ha propuesto además la existencia de al menos tres clases de GRBs canónicos (Ruffini *et al.*, 2009; Muccino *et al.*, 2013; de Barros *et al.*, 2011; Caito *et al.*, 2010; Bernardini *et al.*, 2007; Bianco *et al.*, 2008), “GRBs largos”, “GRBs cortos disfrazados” y “GRBs cortos genuinos”, diferenciados no únicamente por su duración  $T_{90}$  y dureza espectral, sino teniendo en cuenta además la carga bariónica y la densidad promedio del medio circundante a la explosión. Esta propuesta de clasificación para GRBs ha sido respaldada por investigaciones que han catalogado GRBs como “GRBs cortos disfrazados”, como los GRBs GRB 090227B (Muccino *et al.*, 2013), GRB 050509b (de Barros *et al.*, 2011), GRB 071227B (Caito *et al.*, 2010). Sin embargo, los “GRBs cortos genuinos” siguen siendo los más abundantes en la población de GRBs cortos detectados, por lo que esta propuesta de clasificación todavía no es concluyente, se espera que en los próximos años se sigan detectando “GRBs cortos disfrazados” que corroboren de forma concluyente esta propuesta de clasificación.

Podemos decir que se han dado grandes pasos en el entendimiento de los GRBs, los cuales han estado relacionados con la medición de nuevas características observadas gracias a la nueva instrumentación disponible, como los telescopios espaciales con mayor sensibilidad a los rayos gamma, que nos permiten obtener datos que pueden ser comparados con las observaciones existentes. Con estos avances podríamos llegar en el futuro próximo a grandes descubrimientos que nos ayuden a responder muchos de los misterios que todavía encierran los GRBs; principalmente en cuanto a una clasificación definitiva, que permita identificar sus progenitores de forma concluyente y a su vez consolidaría a estos eventos como objetos cosmológicos estándares, lo cual sería de gran repercusión para diversos estudios en la astrofísica.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arimoto, M., N. Kawai, K. Asano, K. Hurley, M. Suzu, Y. Nakagawa, T. Shimokawabe, N.V. Pazmino, R. Sato, M. Matsuoka, A. Yoshida, T. Tamagawa, Y. Shirasaki, S. Sugita, I. Takahashi, J.-L. Atteia, A. Pelangeo, R. Vanderspek, C. Graziani, G. Prigozhin, J. Villasenor, J.G. Jernigan, G.B. Crew, T. Sakamoto, G.R. Ricker, S.E. Woosley, N. Butler, A. Levine, J.P. Doty, T.Q. Donaghy, Q. Timothy, D.Q. Lamb, E. Fenimore, M. Galassi, M. Boer, J.-P. Dezalay, J.-F. Olive, J. Braga, R. Manchanda, G. Pizzichini, 2010. Spectral-lag relations in GRB pulses detected with HETE-2. *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 62(2), 487-499.
- de Barros, G., L. Amati, M.G. Bernardini, C.L. Bianco, L. Caito, L. Izzo, B. Patricelli, R. Ruffini, 2011. On the nature of GRB 050509b: a disguised short GRB. *Astronomy & Astrophysics*, 529(id.A130), 6 pp.
- Bernardini, M.G., C.L. Bianco, L. Caito, M.G. Dainotti, R. Guida, R. Ruffini, 2007. GRB 970228 and a class of GRBs with an initial spikelike emission. *Astronomy and Astrophysics*, 474(1), L13-L16.
- Bianco, C.L., M.G. Bernardini, L. Caito, M.G. Dainotti, R. Guida, R. Ruffini, 2008. *The “fireshell” model and the “canonical” GRB scenario*. In: Proc. of the Nanjing gamma-ray burst conference, AIPConf.Proc.966, pp. 223-226.
- Bostanci, Z.F., Y. Kaneko, E. Gogus, 2013. Gamma-ray bursts with extended emission observed with BATSE. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428(2), 1623-1630.
- Cavallo, G., M.J. Rees, 1978. A qualitative study of cosmic fireballs and gamma-ray bursts. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 183(3), 359-365.
- Caito, L., L. Amati, M.G. Bernardini, C.L. Bianco, G. de Barros, L. Izzo, B. Patricelli, R. Ruffini, 2010. GRB 071227: An additional case of a disguised short burst. *Astrophysics*, 521(id.A80), 5 pp.
- Costa, E., F. Frontera, J. Heise, M. Feroci, J. in ‘t Zand, F. Fiore, M.N. Cinti, D. Dal Fiume, L. Nicastro, M. Orlandini, E. Palazzi, M. Rapisarda, G. Zavattini, R. Jager, A. Parmar, A. Owens, S. Molendi, G. Cusumano, M.C. Maccarone, S. Giarrusso, A. Coletta, L.A. Antonelli, P. Giommi, J.M. Muller, L. Riro, R.C. Butler, 1997. Discovery of the X-Ray Afterglow of the Gamma-Ray Burst of February 28 1997. *Nature*, 387(6635), 783-785.
- Eichler, D., M. Livio, T. Piran, D.N. Schramm, 1989. Nucleosynthesis, neutrino bursts and gamma-rays from coalescing neutron stars. *Nature*, 340, 126-128.
- Fox, D.B., P. Mészáros, 2006. GRB fireball physics: prompt and early emission. *New Journal of Physics*, 8(9), 20 pp.
- Gehrels, N., J.P. Norris, S.D. Barthelmy, J. Granot, Y. Kaneko, C. Kouveliotou, C.B. Markwardt, P. Mészáros, E. Nakart, J.A. Nousek, P.T. O’Brien, M. Page, D.M. Palmer, A.M. Parsons, P.W. Roming, T. Sakamoto, C.L. Sarazin, P. Schady, M. Stamatikos, S.E. Woosley, 2006. A new  $\gamma$ -ray burst classification scheme from GRB060614. *Nature*, 444(7122), 1044-1046.
- Gendre, B., G. Stratta, on behalf of the FIGARO collaboration, 2013. *Models and possible progenitors of gamma-ray bursts at the test field of the observations*. arXiv:1305.3194v1 [astro-ph.HE].
- Hjorth, J., D. Watson, J.P.U. Fynbo, P.A. Price, B.L. Jensen, U.G. Jorgensen, D. Kubas, J. Gorosabel, P. Jakobsson, J. Sollerman, K. Pedersen, C. Kouveliotou, 2005. The optical afterglow of the short gamma-ray burst GRB 050709. *Nature*, 437(7060), 859-861.
- Koshut, T.M., W.S. Paciesas, C. Kouveliotou, J. van Paradijs, G.N. Pendleton, G.J. Fishman, C.A. Meegan, 1995.  $T_{90}$  as a measurement of the duration of GRBs. *Bulletin of the American Astronomical Society*, 27, pp. 886.
- Kouveliotou, C., C.A. Meegan, G.J. Fishman, N.P. Bhat, M.S. Briggs, T.M. Koshut, W.S. Paciesas, G.N. Pendleton, 1993. Identification of two classes of gamma-ray bursts. *Astrophysical Journal, Part 2 - Letters*, 413(2), L101-L104.

- Meegan, C.A., G.J. Fishman, R.B. Wilson, W.S. Paciesas, G.N. Pendleton, J.M. Horack, M.N. Brock, C. Kouveliotou, 1991. *The spacial distribution of gamma ray burst observed by BATSE*. AIP Conf. Proc. 265, 61 pp.
- Muccino, M., R. Ruffini, C.L. Bianco, L. Izzo, A.V. Penacchioni, 2013. GRB090227B: The missing link between the genuine short and long gamma-ray bursts. *The Astrophysical Journal*, 763(2), 16 pp.
- Norris, J.P., 2002. Implications of the lag-luminosity relationship for unified gamma-ray burst paradigms. *The Astrophysical Journal*, 579(1), 386-403.
- Norris, J.P., J.P. Bonnell, 2006. Short gamma-ray bursts with extended emission. *The Astrophysical Journal*, 643(1), 266-275.
- Norris, J.P., N. Gehrels, J.D. Scargle, 2010. Threshold for extended emission in short gamma-ray bursts. *The Astrophysical Journal*, 717(1), 411-419.
- Piran, T., 2004. The physics of gamma-ray bursts. *Reviews of Modern Physics*, 76(4), 1143-1210.
- Ruffini, R., C.L. Bianco, F. Fraschetti, S-S. Xue, P. Chardonnet, 2001. On the interpretation of the burst structure of gamma-ray bursts. *The Astrophysical Journal*, 555(2), L113-L116.
- Ruffini, R., A.G. Aksenov, M.G. Bernardini, C.L. Bianco, L. Caito, P. Chardonnet, M.G. Dainotti, G. De Barros, R. Guida, L. Izzo, B. Patricelli, L.J. Rangel Lemos, M. Rotondo, J.A. Rueda Hernandez, G. Vereshchagin, S-S. Xue, 2009. *The Blackhole energy and the canonical gamma-ray burst IV: the "long," "genuine short" and "fake-disguised short" GRBs*. arXiv:0907.5517 [astro-ph.HE].
- Sakamoto, T., S.D. Barthelmy, W.H. Baumgartner, J.R. Cummings, E.E. Fenimore, N. Gehrels, H.A. Drimm, C.B. Markwardt, D.M. Palmer, A.M. Parsons, G. Sato, M. Stamatikos, J. Tueller, T.N. Ukwatta, B. Zhang, 2011. The second swift burst alert telescope gamma-ray burst catalogue. *The Astrophysical Journal Supplement*, 195(2), 2, 27 pp.
- Vedrenne, G., J-L. Atteia, 2009. *Gamma-ray bursts: The brightest explosions in the universe*. London, UK: Springer Praxis Books, Astronomy and Planetary Sciences, 584 pp.
- Woosley, S.E., 1993. Gamma-ray bursts from stellar mass accretion disks around black holes. *Astrophysical Journal*, 405(1), 273-277.
- Zhang, B., B-B. Zhang, F.J. Virgili, E-W. Liang, D.A. Kann, X-F. Wu, D. Proga, H-J. Lv, K. Toma, P. Mészáros, D.N. Burrows, P.W.A. Roming, N. Gehrels, 2009. Discerning the physical origins of cosmological gamma-ray bursts based on multiple observational criteria: The cases of  $z = 6.7$  GRB 080913,  $z = 8.2$  GRB 090423, and some short/hard GRBs. *The Astrophysical Journal*, 703(2), 1696-1724.