

# CUANDO LO INVISIBLE VA COBRANDO VISIBILIDAD. XIV- LA PRIMERA IMAGEN RESUELTA DE UNA FUENTE CELESTIAL DE RAYOS GAMA

*Eduardo A. Castro*

INIFTA, División Química Teórica Sucursal 4, Casilla de Correo 16, 1900 La Plata, Argentina  
castro@quimica.unlp.edu.ar

**Key words:** visible, invisible, gamma rays celestial source

## ABSTRACT

When invisible becomes visible. XIV – the first image resolved out from a gamma rays celestial source

## INTRODUCCIÓN

Los enormes avances que se vienen desarrollando en el diseño y fabricación de equipos destinados a la investigación y el desarrollo científico han hecho factible poder ver toda una serie de objetos ultra pequeños y ultra grandes que hasta hace muy poco no se podían percibir directamente. Este tema es muy importante ya que al no poder acceder a una visión real de esos objetos, se ha debido recurrir a la modelización de ellos y por ende su tratamiento es aproximado. Sin embargo, debe puntualizarse que el gran ingenio científico produjo modelizaciones que luego se constató eran muy próximas a la realidad. En una serie de artículos de carácter divulgativo e informativo (1-14) se han descrito toda una variedad de campos donde se han ido produciendo avances significativos en la detección de imágenes reales tanto del micro como del macrouniverso.

## DISCUSION

Casi todas las fuentes primarias de rayos cósmicos son partículas cargadas (principalmente protones). Pero una de ellas, los rayos gamma (que constituye una milésima avas parte de esas partículas) poseen un valor muy especial para los astrofísicos. La dirección de arriba de una partícula cargada con energía por debajo de  $10^{18}$  eV no revela nada acerca de su origen. Esto se debe al hecho de que los campos magnéticos aleatorios con intensidades del orden del micro-gauss que pueblan las galaxias desvían las trayectorias de todas esas partículas salvo aquellas con energías ultra altas (que se presume que se originan más allá de nuestra galaxia). Pero los rayos gamma, al no estar influenciados por los campos magnéticos, son

testigos astrofísicos soberbios. La pregunta pertinente en este aspecto es ¿cuál es el mecanismo astrofísico que acelera a las partículas cargadas a energías del orden del TeV ( $10^{12}$  eV), típicas de los rayos cósmicos con energías elevadas que se originan en nuestra galaxia? La presunción general es que las partículas son aceleradas por los campos magnéticos móviles localizados en los frentes de choque remanentes creados por las explosiones de las supernovas. Pero hasta hace poco la evidencia de tal mecanismo ha sido solamente indirecta.

El propósito de este artículo es describir un reciente arreglo de telescopios Cherenkov para producir la primera imagen resuelta de una fuente celestial de rayos gamma.

## Imágenes de rayos gamma con energía del orden del TeV

Los rayos gamma TeV sólo pueden generarse por partículas cargadas con energías aún mayores. Las dos fuentes más probables de gamma TeV son el decaimiento de piones neutros generados en colisiones de protones de altas energías con materiales interestelares y la dispersión Compton inversa de electrones de alta energía en fotones de baja energía. Alrededor del 1% de los rayos cósmicos primarios son electrones. Y ahora se acaba de concretar una nueva tecnología de imágenes que suministra la evidencia más directa de los gamma TeV y por ende los protones de altas energías y los electrones que los constituyen originados en las capas remanentes en expansión dejadas por supernovas muertas hace tiempo (15).

Usando el nuevo sistema estereoscópico de alta energía (HESS), que está compuesto por cuatro telescopios Cherenkov localizados a una altitud de 1,8 Km en Namibia central, se ha logrado captar la imagen de una capa de una supernova remanente de 1000 años de esas en gamma TeV.

Los rayos gamma de alta energía nunca alcanzan la superficie terrestre. Lo que hacen

los registros de los telescopios HESS es tomar el flash de luz Cherenkov generada por la lluvia de electrones y positrones relativísticos creados cuando un rayo gamma energizado choca la atmósfera superior. A partir de la luz Cherenkov, se puede determinar la dirección primaria de los rayos gamma con una incerteza de unos pocos arcominutos y su energía con una desviación máxima del 15%. Cuanto más alta es la energía primaria, mayor es la luz producida. La energía primaria mínima para un telescopio Cherenkov es de alrededor de 0,1 TeV y depende en alguna medida de la altura de su localización.

El remanente del Southern Hemisphere, rotulado como RX J1737.7-3946 fue descubierto y fotografiado en rayos X en 1996. Cuatro años más tarde, fue identificado, pero no pudo ser resuelto como una fuente de gamma TeV (16,17). Esta supernova particular remanente que está a 3000 años luz, ha traído considerable atención porque las nubes moleculares eran abundantes en sus vecindades y porque la componente atérmica de su salida de rayos X era inusualmente fuerte. El análisis de las líneas de contorno superpuestas en la imagen HESS muestra que en su mayor parte, los fotones TeV y keV provienen de las mismas regiones de la capa externa del remanente.

Los telescopios Cherenkov han estado identificando sin ninguna ambigüedad, algunos remanentes de supernovas como fuentes discretas de rayos gama TeV desde fines de los 80. Pero hasta el presente no se había podido resolver la imagen gamma, ya que era imposible asociar la fuente gamma con características morfológicas específicas de una supernova remanente como luz visible o rayos X. Sólo se llegó a identificar un parche difuso de gamma TeV en el RX J1713.7-3946.

### Una nueva generación

La facilidad HESS es la primera de una nueva generación de complejos telescópicos del tipo Cherenkov que tienen la capacidad potencial para tomar imágenes de fuentes gamma. Otro proyecto similar es el VERITAS, que se planea habrá de tener 4 telescopios Cherenkov en Kitt Peak, Arizona, USA y se dispondrá del mismo hacia el año próximo (i.e. 2006). Los telescopios HESS, colocados en los cuatro vértices de un campo de 120 m de lado, brindan un cuarteto estereoscópico de imágenes que refina la determinación de la dirección de los rayos gamma primarios en un grado tal que resulta suficiente para producir imágenes útiles. La luz Cherenkov en vuelo de una lluvia generada por un rayo gamma TeV choca contra el terreno con un diámetro de unos pocos

cientos de metros. Cada telescopio recoge su porción del flash Cherenkov con un reflector parabólico segmentado de 13 m de diámetro, que dirige la luz hacia un fototubo 960 del plano focal de una cámara. La lluvia se dispersa iónicamente en alrededor de 1° a partir del rayo gamma TeV incidente. Pero las vistas estereoscópicas múltiples fijan el eje de la lluvia y con ello la dirección primaria, con una dispersión de 2-3 arcominutos. Esta característica determina el límite de resolución de la imagen gamma. La producción de esta clase de imagen requiere un análisis extensivo de las líneas accesorias para traducir cada lluvia de rayos en un solo punto de imagen.

El sistema de imagen estereoscópico del HESS también facilita la distinción entre las lluvias gamma deseadas del número mucho más grande de las lluvias iniciadas por rayos cósmicos protónicos. Con su gran carga de piones y muones, las lluvias iniciadas por protones de altas energías son más anchas y verticalmente más largas que aquellas inducidas por rayos gamma. Cuanto más pequeña es la energía primaria, más difícil es hacer esta distinción crucial de un modo confiable.

### ¿Electrones o Protones?

Actualmente los cuatro telescopios están operando a pleno y es dable esperar que pronto se tengan imágenes de RX J1713.7-3946 con una mejor resolución y estadística fotónica ¿Qué se puede esperar que se aprenda a partir de estas imágenes más precisas? Ya se sabe que los rayos gamma TeV se originan en la capa expandida de los remanentes de las supernovas antes que de alguna fuente exótica en su parte más interna. La cuestión del mayor interés para los físicos de rayos cósmicos es saber si la población de capas de partículas cargadas de alta energía que crean los gamma TeV están compuestas predominantemente por protones o electrones.

Ya se podría haber concluido a partir de las imágenes y espectros de rayos X remanentes que la capa debe contener una abundancia de electrones con elevadas energías. La componente no térmica fuerte del espectro de rayos X implica que la mayoría de los fotones de rayos X no provienen del material caliente ionizado (o bremsstrahlung) sino de la radiación cincrotónica por electrones multi TeV que se mueven en forma espiralada en el campo magnético remanente. Tales electrones también están suficientemente energizados como para impactar a los fotones ambientales a energías TeV.

¿Hay una cantidad suficiente de dispersiones inversas del tipo Compton para dar cuenta de

todos los gamma TeV del RX J1713.7-3946? Si las distribuciones espaciales de los rayos X y gamma son suficientemente similares y se pueden reproducir las intensidades relativas por medio de la rotación del campo magnético desconocido, posiblemente los electrones con múltiples TeV podrían ser la respuesta buscada. Pero los datos con los que se cuenta hasta el presente no son lo suficientemente precisos como para fundamentar en forma cierta una respuesta definitiva.

La principal fuente alternativa de gamma TeV y una que soporta más directamente la componente protónica predominante de los rayos cósmicos es el decaimiento de dos rayos gamma de piones neutros creados por protones multi TeV colisionando con moléculas tales como H<sub>2</sub> y CO. Este tipo de mecanismo podría dar cuenta fácilmente de la caída del espectro de energía gamma con una dependencia del tipo E<sup>-2.2</sup> que fuera medido experimentalmente para la supernova remanente RX J1713.7-3946. Pero la estimación de la contribución de las colisiones protónicas de alta energía a la producción de los rayos gamma del RX J1713.7-3946 requiere comparar la imagen gamma con la distribución de nubes moleculares en las vecindades del remanente. Un problema existente es que las búsquedas radiotelescópicas que siguen tales nubes por medio de la evolución de las líneas de las transiciones moleculares sólo producen densidades columnares. Esto significa que ellas no se pueden distinguir fácilmente en el frente de onda de las nubes frontales a lo largo de la línea visible.

La velocidad del frente de choque, expresada en unidades β, su fracción de la velocidad de la luz, es sólo del 3%. Un protón o electrón cargado viajando en el frente de choque puede adquirir una energía fraccional de aproximadamente β a partir del campo magnético móvil. Esto podría parecer una impulsión muy pobre para dar cuenta de los rayos cósmicos TeV. La respuesta estándar es que las pocas partículas cargadas que contribuyen a las energías TeV no sólo se

originan en la cola de alta energía de la distribución térmica. Además, ellas tienen que atravesar el mismo frente de choque cientos de veces. Este destino improbable puede sobrevenir a una partícula si la dispersión aleatoria del material ambiente cambia su dirección en sentido opuesto a menudo sin llegar a disipar su energía acumulada. Este es un proceso lento. A los pocos típicamente exitosos les toma miles de años alcanzar las energías TeV. Las fuentes de choque duran unas decenas de miles de años antes que dejen el vapor. Quizás la mitad de su energía inicial puede terminar en la forma de rayos cósmicos (18).

#### REFERENCIAS

- [1] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIII**(4) (1997) 224-235.
- [2] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIII**(4) (1997) 236-241.
- [3] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIII**(4) (1997) 242-246.
- [4] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIII**(4) (1997) 247-251.
- [5] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXVIII**(3) (2002) 132-140.
- [6] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXVIII**(3) (2002) 141-149.
- [7] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIV**(3) (1998) 198-207, *ibid* 188-197.
- [8] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIV**(4) (1998) 256-259.
- [9] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXIV**(4) (1998) 260-263.
- [10] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXV**(1) (1999) 54-58.
- [11] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXV**(1) (1999) 59-62.
- [12] E. A. Castro, *Bol.Soc.Quim. (Perú)* **LXV**(2) (1999) 115-118.
- [13] E. A. Castro, *Espacios* **VII**(19) (2001) 62-65.
- [14] E. A. Castro, *Industria y Química* **394** (2004) 23-25.
- [15] F. Aharonian et al., *Nature* **432** (2004) 75.
- [16] H. Muraishi et al., *Astron. Astrophys.* **354** (2000) L57.
- [17] R. Enomoto et al., *Nature* **416** (2002) 823.
- [18] B. Schwarzschild, *Physics Today*, January 2005, **58**(1) (2005) 19-21.