

El enigmático origen de los rayos cósmicos

Carlos Velázquez

Nuestro planeta está siendo bombardeado constantemente por partículas viajando con grandes energías. Este continuo bombardeo es una forma de radiación llamada rayos cósmicos, la forma más energética de radiación que conocemos. Sin embargo los científicos no han podido descubrir un mecanismo satisfactorio que explique cómo se origina. A continuación te presentaré lo que sabemos sobre el misterioso origen de los rayos cósmicos.

¿Rayos cósmicos?

A inicios de nuestro siglo se descubrieron los tres principales mecanismos de la radiactividad: la radiación alfa, que consiste en el desprendimiento de una partícula de un núcleo atómico pesado formada por dos protones y dos neutrones; la radiación beta, que es la expulsión de un electrón del núcleo atómico, y la radiación gamma, que es radiación electromagnética como la luz, pero inmensamente más poderosa (para saber más sobre los tipos de radiación que conocemos puedes leer [El experimento de la hoja de oro](#) aquí en

Cienciorama). En estos mismos años también se descubrió que existía una radiación residual en el ambiente cuyo origen no estaba nada claro.

Esta radiación residual se empezó a detectar en los electros copios (aparatos que sirven para detectar y medir la carga eléctrica que tiene un cuerpo) porque nunca eran capaces de mantener su carga eléctrica y la perdían a través del aire. Como el aire es aislante, la única manera de hacer que un electros copio pierda su carga es creando iones (o sea, arrancándole algunos electrones a los átomos del aire) y esto es algo que las sustancias radiactivas hacen de manera eficiente. Pero lo raro es que esto ocurría con electros copios lejos de fuentes radiactivas.

Nadie tenía idea del origen de esta radiación hasta que en 1911 el físico Viktor Hess se embarcó en una serie de vuelos en globos aerostáticos. Su sorpresa fue mayúscula cuando comprobó que el nivel de esta radiación aumentaba a medida que ascendía, así que no tuvo más remedio que concluir que el origen de esta radiación estaba en una capa muy alta de nuestra atmósfera, o bien que esta radiación provenía del espacio exterior. Los trabajos posteriores de muchos científicos comprobaron que esta radiación era efectivamente de origen extraterrestre, y ahora es conocida con el nombre de rayos cósmicos. Hess ganó el premio Nobel en 1936 por este descubrimiento.

Al principio nadie estaba seguro de qué eran los rayos cósmicos, y muchas personas, incluido Hess, sospecharon que podrían ser una forma muy energética de rayos gamma (para saber más sobre el descubrimiento de los rayos cósmicos puedes leer [Los pioneros de las partículas extraterrestres](#) aquí en *Cienciorama*). Hoy en día sabemos que los rayos cósmicos son núcleos atómicos sin electrones, que viajan a velocidades extremadamente altas, muy cercanas a la de la luz. Para ser más precisos, la mayor parte de estos núcleos son de hidrógeno (90%), lo que quiere decir que son un sólo protón viajando por el espacio. El 9% son núcleos de helio y el 1% restante se lo reparten todos los demás núcleos de los elementos conocidos, además de algunos electrones y un poco de antimateria.

La energía de estas partículas que está directamente relacionada con la velocidad, varía ampliamente. La gran mayoría de estas partículas tienen una velocidad baja y son incapaces de penetrar en nuestra atmósfera ya que son frenadas por las moléculas de sus capas más altas. Estas partículas sólo se pueden detectar con satélites especializados que orbitan la Tierra. A pesar de eso, hay una pequeña fracción de los rayos cósmicos cuya gran energía crea un fenómeno sorprendente: las cascadas atmosféricas extensas (para saber más acerca de las cascadas atmosféricas puedes leer [¡Rayos cósmicos!](#), aquí en *Cienciorama*).

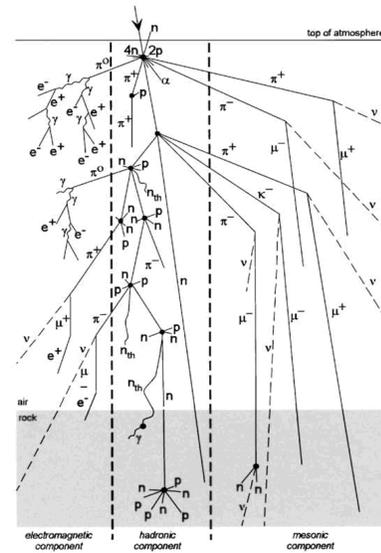
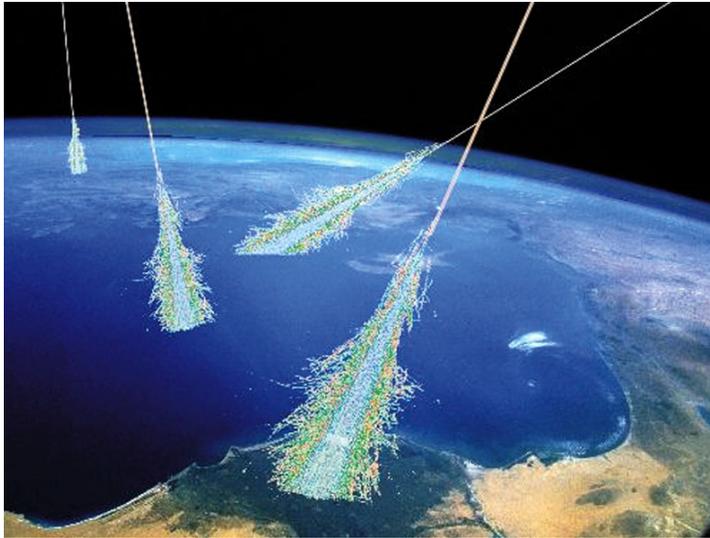


Figura 1. La Tierra es constantemente bombardeada por partículas de alta energía que al chocar con las moléculas de la atmósfera crean cascadas de partículas.

Los rayos cósmicos con más energía atraviesan las capas más altas de la atmósfera hasta llegar a la troposfera, la sección más densa de la atmósfera en la que vivimos nosotros. En esta sección la densidad de moléculas es tan grande que los rayos cósmicos no tardan en estrellarse de manera frontal con algún átomo del aire. Este violento choque hace que la partícula cósmica le arranque fragmentos al núcleo atómico. Estos fragmentos tienen tanta energía que van a colisionar con otros núcleos y de nuevo crean más fragmentos. Este proceso se repite varias veces hasta que se forma un cono de partículas que apuntan en promedio en la dirección de la partícula original. Existen técnicas para detectar las partículas de la cascada atmosférica, y con ellas podemos saber cuál era la partícula original y su energía antes de entrar a la atmósfera (figura 1). A todos los fragmentos de núcleo y nuevas partículas que forman parte de la cascada se les conoce como partículas secundarias.

Partículas sin pasaporte

El hecho de que podamos detectar estas partículas con satélites e investigación de las cascadas atmosféricas podría hacernos pensar que analizando la dirección en que vienen podemos inferir su origen, pero no es así. Los rayos cósmicos están hechos de partículas cargadas que modifican su dirección de desplazamiento cada vez que se encuentran con un campo magnético. El medio interestelar está poblado de campos magnéticos que pueden ser débiles, pero que se extienden por millones de kilómetros, por lo que la dirección en la que los rayos cósmicos se desplazan no tiene nada que ver con la dirección inicial en la que fueron creados. Esta es una gran desventaja de la astronomía de rayos cósmicos respecto a la de rayos gamma, ya que este tipo de rayos al ser electromagnéticos, viajan siguiendo una dirección prácticamente recta.

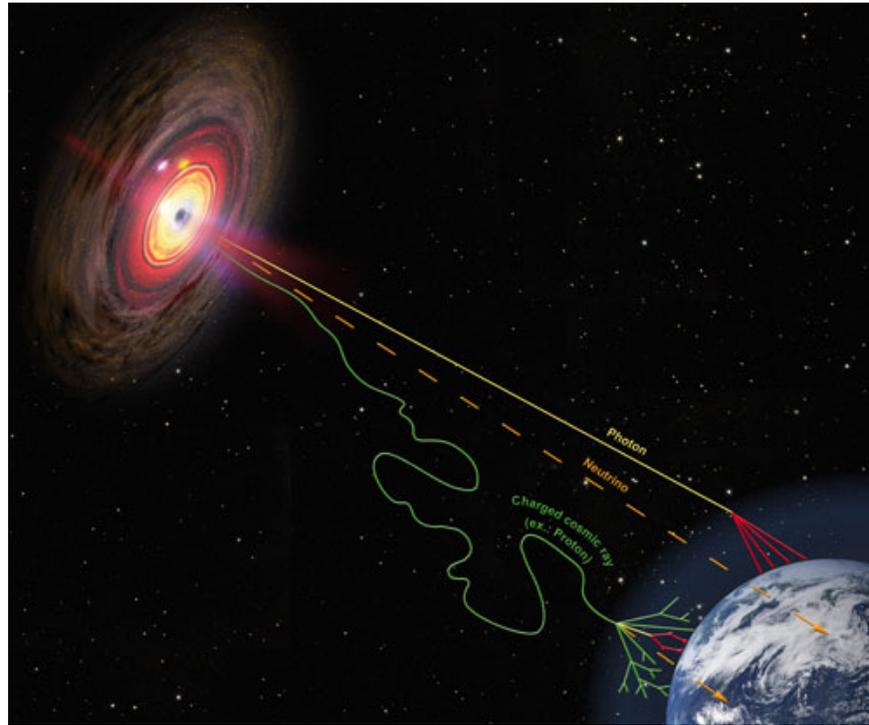


Figura 2. Los rayos cósmicos pierden la información de su origen a diferencia de los rayos gamma.

El olor de las supernovas

En el año de 1066 ocurrió un fenómeno espectacular. En la despejada noche del 30 de abril de ese año, el mundo se sorprendió por la repentina aparición de una superestrella en el cielo. Su tamaño debió ser como el de la mitad de la Luna, y su brillo era tan poderoso que se alcanzaron a ver tenues sombras esa noche. Este brillo se mantuvo hasta el día siguiente, y después de eso la superestrella murió poco a poco, pero fue posible ver el pálido punto luminoso hasta que desapareció por completo en los meses siguientes. Este maravilloso espectáculo es la primera observación histórica de una supernova, y fue tan notable que muchos pueblos dejaron constancia de él; las mejores descripciones que tenemos provienen de fuentes chinas y árabes.

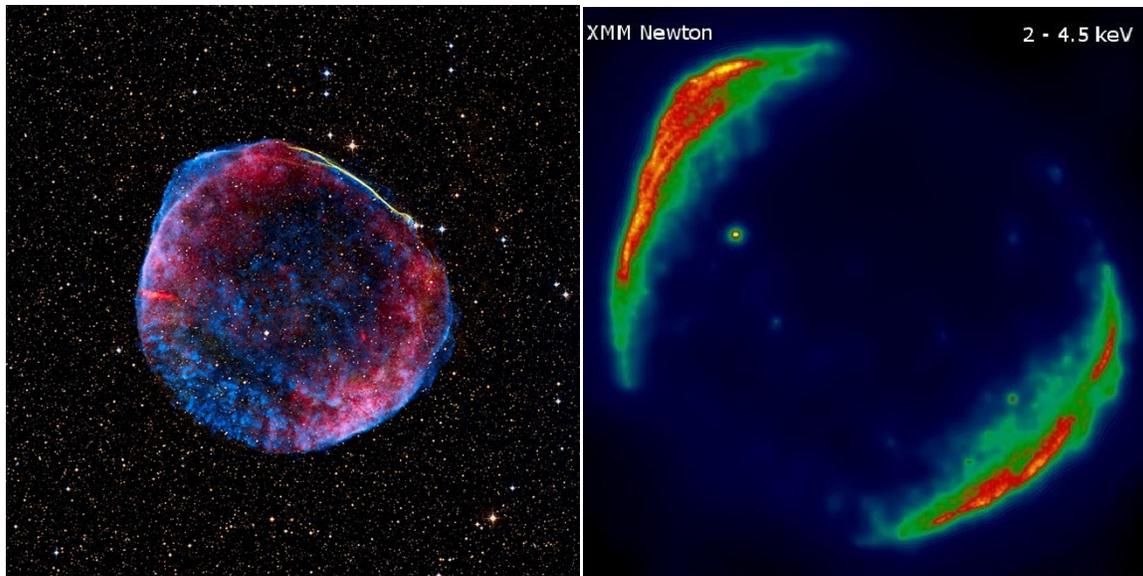


Figura 3. A la izquierda, una foto del remante de la supernova SN 1006 tomada en el año 2014. Esta supernova se observó en el año 1006 y la registraron varias culturas. A la derecha una observación en la frecuencia de rayos X (2008).

Aunque por mucho tiempo los astrónomos modernos no creyeron que esta descripción tuviera una base real, en 1965 se identificaron los restos de una supernova que coincidía exactamente con las fuentes históricas. La llamaron SN 1006.

Aunque hasta aquí esta historia parece no tener nada que ver con los rayos cósmicos, lo cierto es que en los años subsiguientes se hicieron intensas observaciones de los restos de esta supernova y se descubrió que había una región con una emisión anormalmente alta de rayos X, lo que indicaba que había partículas cargadas experimentando grandes aceleraciones. Los astrónomos se dieron cuenta de que habían encontrado la primera fuente posible de aceleración de rayos cósmicos. ¿Por qué estaban seguros de esto?, porque las supernovas son estrellas a las que se les ha acabado el combustible nuclear y ya no pueden resistirse a su propia fuerza gravitacional y por ello las capas interiores colapsan y se comprimen hasta obligar a todos los protones a unirse con los electrones y convertirse en neutrones. En este proceso se desata una cantidad inimaginable de energía que hace que las capas exteriores sean expulsadas en una explosión tan violenta que puede producir más energía luminosa que toda la que contiene la galaxia. Estas capas externas aceleran las partículas del viento de la estrella y comprimen las líneas del campo magnético del gas interestelar. El campo magnético comprimido actúa como un espejo en el que se refleja el viento de la estrella, que se vuelve a estrellar varias veces con la onda de choque de las capas externas de la estrella que se están expandiendo. Por los cálculos se sabe que en las regiones donde se da el espejo magnético se debe producir una gran cantidad de rayos X, ya que en esta región hay una gran aceleración de las partículas cargadas, y esto es

precisamente lo que los astrónomos observaron en SN1006. Este es a grandes rasgos el primer mecanismo conocido de generación de los rayos cósmicos.

A pesar de la violencia explosiva de las supernovas, este mecanismo sólo puede explicar la creación de los rayos cósmicos de menor energía que llegan hasta la Tierra. Los rayos cósmicos de mayor energía necesitan de procesos de generación aún más violentos.

Extraterrestres extragalácticos

El principal problema con los rayos cósmicos de mayor energía es que nuestra galaxia no tiene un campo magnético suficientemente poderoso como para mantenerlos dentro de ella. Si acaso los rayos cósmicos de ultra alta energía se generaran en nuestra galaxia, ésta sería incapaz de retenerlos y por lo tanto no deberíamos observar tantos como los que llegan a la Tierra. Esto no nos deja otra posibilidad que aceptar que son de origen extragaláctico.

Sin embargo aquí viene la segunda dificultad. Todos hemos oído acerca de la radiación de fondo del universo, que es el remanente de la tremenda temperatura inicial de nuestro universo. Podemos entender a qué se refiere la radiación de fondo si pensamos en ella como un gas. Cuando comprimimos un gas su temperatura aumenta, pero al ocupar un mayor volumen la temperatura va disminuyendo. La radiación de fondo es equivalente a un gas electromagnético. Cuando el universo se formó esta radiación tenía una temperatura tremendamente alta, pero hoy en día es tan sólo de unos 2 grados por encima del cero absoluto. En términos prácticos esto implica que todo el universo está lleno de microondas en todas partes.

Todo esto no tendría ninguna importancia para la radiación cósmica si no fuera por el hecho de que muy de vez en cuando las partículas de los rayos cósmicos chocan con un fotón de la radiación de fondo (un fotón es la partícula asociada a las ondas electromagnéticas) y estos choques sólo le restan una mínima fracción de energía, pero como las distancias entre las galaxias son tremendamente grandes hay un límite para la distancia que la radiación cósmica puede viajar, debido a que la acumulación de choques con los fotones del fondo termina por quitarle energía a los rayos cósmicos. Todas estas ideas fueron propuestas en 1966 por los tres físicos Kenneth Greisen, George Zatsepin y Vladimir Kuzmin. En resumen, el límite calculado para que una partícula pueda viajar a través del espacio son unos 150 millones de años luz, ya que más allá de esa velocidad será frenada. Esta distancia puede parecer mucho, pero la verdad es que en una escala galáctica no lo es. A unos 150 millones de años luz sólo están las galaxias más cercanas a la Vía Láctea. ¿Pero entonces en las galaxias cercanas existen fuentes identificadas que podrían producir la radiación cósmica que vemos? La realidad es que no estamos seguros.

Uno de los grandes problemas de los rayos cósmicos de ultra alta energía es que los procesos que pueden haberlos originado deben tener dos

características: un campo magnético increíblemente grande que se extienda también en un área muy grande. Este tipo de condiciones las cumplen sólo las radiogalaxias que de manera parecida a las supernovas, tienen procesos que las hacen expulsar una gran cantidad de gases al espacio interestelar. Ocurre en ellas el efecto de aplastamiento de líneas de campo magnético y el tipo de aceleración de partículas que se da en las supernovas.

Las radiogalaxias son candidatos excelentes para producir los rayos cósmicos más energéticos, pero la pregunta es si están suficientemente cerca como para ser la verdadera fuente de la radiación que nos llega. Como muchas otras veces, en astronomía suele ser más fácil observar lo lejano que lo cercano, sin embargo, existe una radiogalaxia llamada M87 que está en el grupo de galaxias de Virgo. Este conjunto de galaxias se encuentra a unos 60 millones de años luz de la nuestra, lo cual la coloca por debajo de la distancia crítica de 150 millones de años luz. A pesar de que son un candidato razonable ¿cómo podríamos estar seguros de que son realmente la fuente de la que proviene la radiación cósmica que llega a la Tierra?

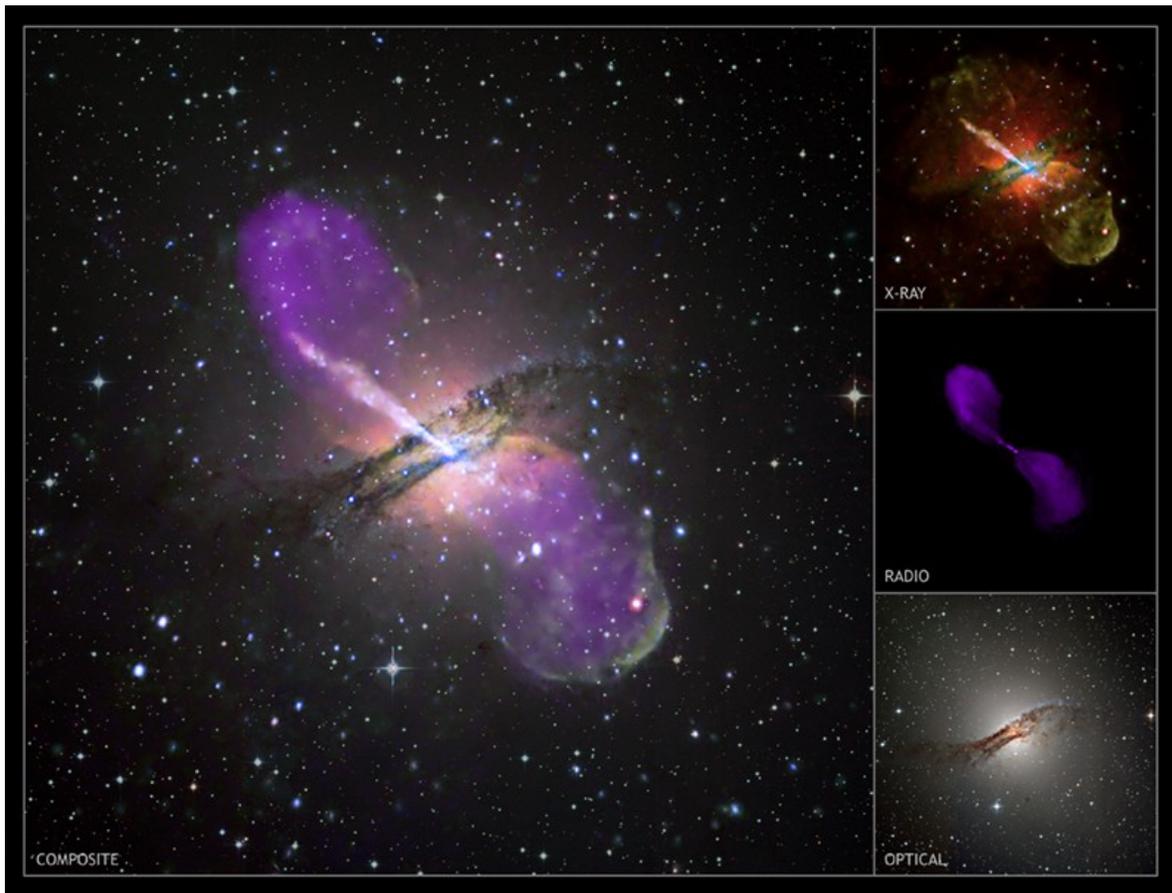


Figura 4. Radiogalaxia Centaurus A. En la parte derecha de la imagen podemos observar la galaxia en diferentes intervalos de radiación electromagnética (rayos X, radio y radiación visible). La gran cantidad de rayos X puede ser un indicativo de formación de rayos cósmicos superenergéticos.

Misterios por resolver

Como puedes ver, los rayos cósmicos nos enseñan una gran lección: detrás de un fenómeno tan simple como un electroscopio descargándose puede haber una gran cantidad de fenómenos sorprendentes. La cuestión del origen de los rayos cósmicos es un campo de estudio activo dentro de la física, y puedes estar seguro de que ha habido un montón de investigaciones al respecto y que durante los siguientes años se va a descubrir muchísimo más.

Este conocimiento, al igual que muchos otros que la humanidad está adquiriendo ahora y ha adquirido en el pasado, nos lleva por el camino del descubrimiento y el saber, ¿Para qué crear más problemas como guerras y masacres, habiendo tantos y tantos tesoros por descubrir en nuestro universo? Te invito a que busques estos tesoros, ya que esta búsqueda te traerá grandes recompensas.

Bibliografía

Biman Nath, *The Enigma of Cosmic Rays*, Resonance, Springer, Alemania 2017.

Alessandro de Angelis, *Introduction to Particle and Astroparticle Physics: Questions to the Universe*, Springer-Verlag, Italia, 2015.

Brigitte Falkenburg y Wolfgang Rhode (editores), *From Ultra Rays to Astroparticles. A Historical Introduction to Astroparticle Physics*. Springer Science+Business Media, Dordrecht, 2012.

Mario Bertolotti, *Celestial Messengers. Cosmic Rays: The Story of a Scientific Adventure*, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 2013.

Figuras

Figura inicial: Radiogalaxia Cenaurus A

<http://www.eso.org/public/images/eso0903a/>

Figura 1: <https://apod.nasa.gov/apod/ap060814.html> y <https://bit.ly/2wo7CTQ>

Figura 2: http://www.hap-astroparticle.org/img/cosmic-rays_web-thumbnail.jpg

Figura 3: <https://apod.nasa.gov/apod/image/1407/sn1006c.jpg>

https://inspirehep.net/record/798458/files/Figures_sn1006xmm.png

Figura 4: https://apod.nasa.gov/apod/image/0801/cena_comp.jpg