



¡Rayos cósmicos!

Carlos Velázquez

Aunque no lo creas en este mismo momento están ingresando a la Tierra una gran cantidad de partículas capaces de atravesar la atmósfera e incluso de llegar hasta ti, muchas de ellas te atraviesan como si no estuvieras y tú no te das cuenta. Estas partículas son parte de la radiación más energética que conocemos a la que los científicos llaman rayos cósmicos. Hoy responderemos a la controvertida pregunta de qué rayos son los rayos cósmicos, según lo que se sabe hasta ahora.

El discreto encanto radiactivo de la naturaleza

En nuestro ambiente hay diversos tipos de fuentes radiactivas, como los minerales que contienen pequeñas cantidades de uranio, el radón en la atmósfera y los restos de las explosiones y pruebas nucleares que han quedado flotando en el aire. Por esta razón todos hemos estado expuestos a

una cierta cantidad de radiación (para saber más puedes leer "Nuestro mundo radioactivo" aquí en *Cienciorama*). Pero la fuente más energética de radiación que conocemos no procede de ninguna fuente terrestre, ni siquiera su origen principal es nuestro sistema solar sino de enigmáticos procesos dentro y fuera de nuestra galaxia, que son los llamados rayos cósmicos.

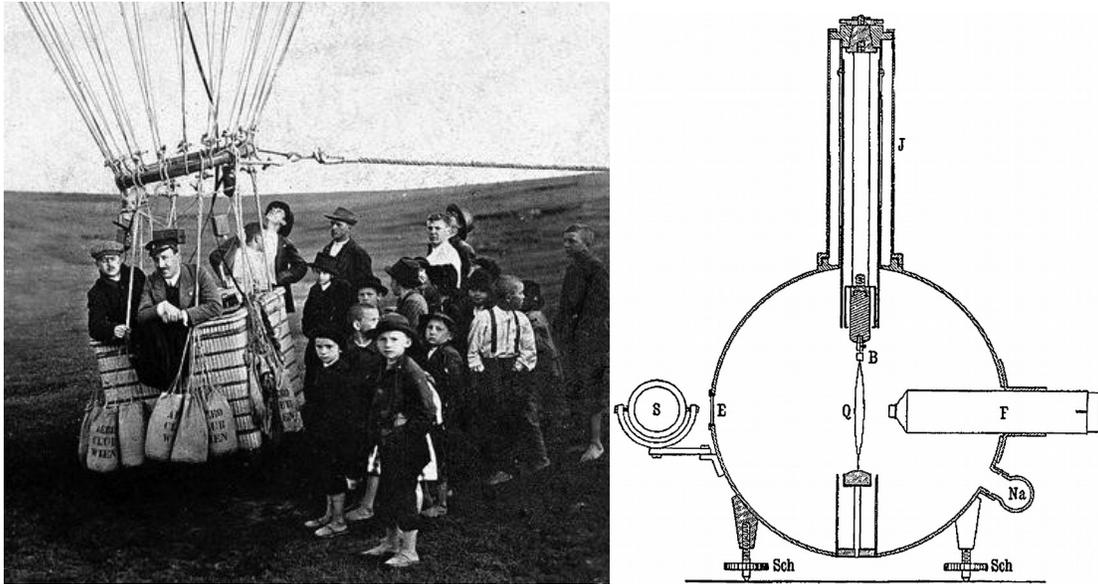


Figura 1. Viktor Hess y una representación esquemática de su electroscopio.

La radiación consiste en partículas que viajan con enormes energías. Las primeras formas de radiación conocidas fueron la alfa, que consiste en la expulsión de un núcleo atómico de dos protones y dos neutrones pegados, la beta, que consiste en que los núcleos atómicos expulsan un electrón o su antipartícula, un positrón, y la gamma, que es radiación electromagnética.

Estas formas de radiación se descubrieron a finales del siglo XIX. En esos mismos años los físicos se dieron cuenta de que este descubrimiento podría explicar el viejo misterio de por qué los electroscopios se descargaban de manera espontánea. Un electroscopio es simplemente un aparato que acumula carga. El hecho de que un electroscopio se descargara era muy raro para los físicos, ya que el aire es un aislante bastante bueno. Cuando se empezaron a encontrar materiales radiactivos, los físicos se dieron cuenta de qué provocaba que los electroscopios se descargaran, así que todos sospecharon que en el ambiente había una fuente radioactiva desconocida.

Después de muchas especulaciones sólo dos teorías se sostuvieron, que la radiación provenía de algún elemento en la Tierra o en la atmósfera. Para

comprobar estas hipótesis entre 1911 y 1913 Víktor Hess emprendió una serie de vuelos en globos aerostáticos y descubrió muy sorprendido que la radiación aumentaba a medida que subía más y más alto, de modo que concluyó que la fuente de esta radiación debía estar fuera de nuestro planeta, que debía ser cósmica. 25 años después de su primer ascenso, en 1936, Hess recibió el premio Nobel por su descubrimiento (para saber más sobre Hess y los primeros años de investigación en rayos cósmicos, puedes leer [Pioneros de las partículas extraterrestres](#) aquí en *Cienciorama*).

¿Rayos?

Hoy en día sabemos que los rayos cósmicos están compuestos principalmente de protones y núcleos sin electrones que viajan con gran energía. La energía de las partículas varía mucho. La gran mayoría viaja a velocidades menores que las que se obtienen en aceleradores de partículas en la Tierra, pero algunas de ellas tienen velocidades y energías muchísimo mayores que las que se pueden lograr de manera artificial.

El nombre de rayos cósmicos es una reminiscencia histórica, así se les denominó cuando se creía que esta radiación era electromagnética, o sea rayos gamma de alta energía. Ahora sería más preciso llamarlas partículas ultraenergéticas, pero todos los estudiosos entienden a qué se refieren al hablar de rayos cósmicos.

Hasta ahora no hemos encontrado un límite para la energía que los rayos cósmicos tienen, y explicar esto supone un reto para la física ¿Por qué? Lo que pasa es que según nuestras teorías físicas, lo más natural sería que las energías de los rayos cósmicos se comportaran igual que las de las partículas de un gas. La velocidad de las moléculas de un gas se comporta según lo predice la distribución de Maxwell. Esta distribución indica que en un gas hay pocas moléculas con una baja velocidad, pero su cantidad se incrementa a medida que aumenta la velocidad. La mayor parte de las moléculas tienen una velocidad cercana a un cierto valor promedio. Por último, la cantidad de partículas con una velocidad mayor que esta velocidad promedio, decrece rápidamente, de modo que es casi imposible tener alguna con una velocidad realmente alta. Esto importa mucho ya que las moléculas que salen disparadas en una explosión se comportan como si fueran parte de un gas muy caliente, y esto es cierto en una explosión de dinamita y también en la de una bomba atómica (figura 2).

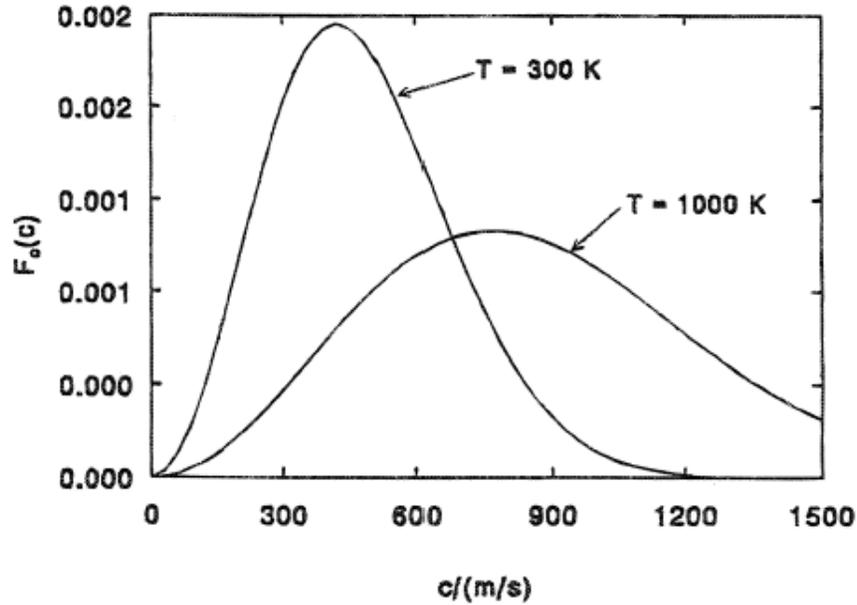


Figura 2. Distribución de velocidades de las partículas de gas.

Debido a la gran energía de los rayos cósmicos, lo más natural es pensar que se originan en explosiones en el espacio, y por lo tanto el perfil de las velocidades que deberíamos detectar aquí en la Tierra debería ser parecido al de las velocidades de Maxwell, pero esto no es así.

Las velocidades de las partículas que componen a los rayos cósmicos son como se muestra en la figura 3. Una de las anomalías de esta gráfica es que hay muchísimos más rayos cósmicos de baja velocidad que los que deberíamos tener si estos provinieran de explosiones comunes y corrientes. Por otro lado, hasta donde nuestra capacidad de detección nos permite, siempre hemos encontrado rayos cada vez más energéticos. De todo esto queda clara una sola cosa: lo que genera los rayos cósmicos no se parece en nada a una explosión común como las que conocemos.

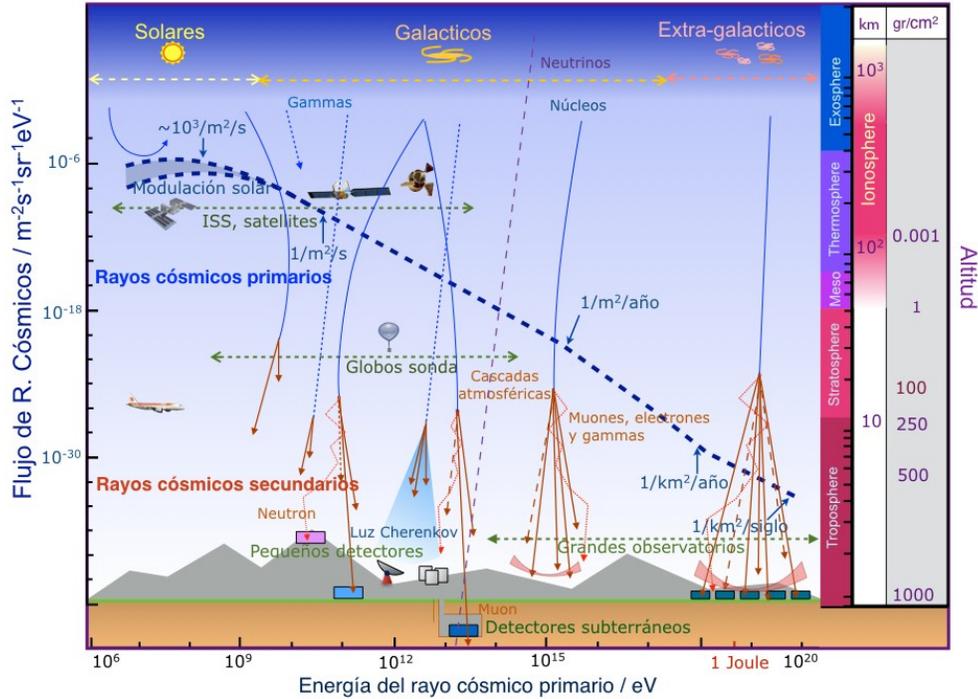


Figura 3. Distribución de energías de las partículas que integran los rayos cósmicos que llegan a la Tierra.

Invasión alienígena

Desde tiempos de Hess, cuando los rayos cósmicos se detectaban con electroscopios, las técnicas de detección han evolucionado muchísimo, e instrumentos como los detectores Geiger-Müller y la cámara de niebla ayudaron mucho a comprenderlos. Pero la herramienta principal que aún utilizamos para detectarlos se descubrió en la Unión Soviética entre 1930 y 1940, y se conoce como radiación Cherenkov.

Para entender la radiación Cherenkov daremos un pequeño rodeo y primero hablaremos de aviones supersónicos. El sonido de estos aviones consiste en ondas que viajan por el aire a una velocidad de 1,200 km/hr. Los objetos de nuestra vida cotidiana no pueden viajar a esa velocidad, de modo que las ondas que producen tienen el destino de irse disipando poco a poco. Pero cuando un objeto viaja a 1,200 km/hr, rebasa continuamente las ondas de sonido que produce. Esto hace que las ondas recién producidas se vayan encontrando y unan su efecto en un frente en forma de cono, el famoso cono de choque supersónico.

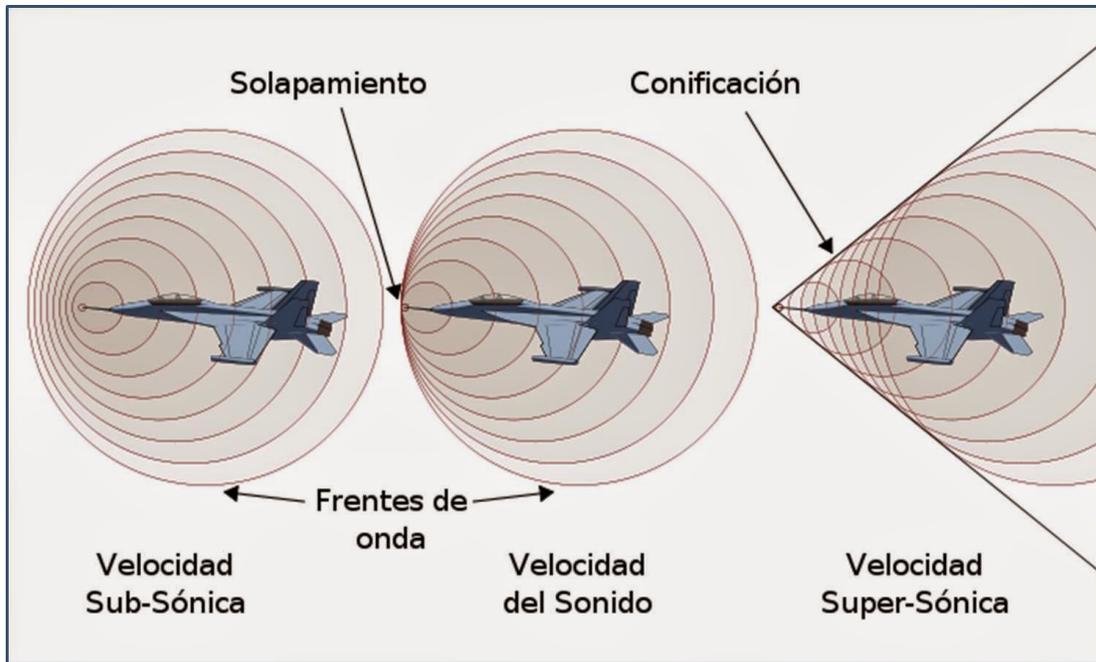


Figura 4. Cono de choque supersónico.

La luz, al igual que el sonido, es una onda, y si no fuera por el hecho de que viaja a la velocidad más alta posible de nuestro universo, entonces sería de esperar que hubiera ondas de choque de luz. Sin embargo la luz sólo adquiere su máxima velocidad en el vacío, y cuando viaja dentro del aire o el agua, su velocidad disminuye debido a que interactúa con los átomos del material. Entonces, si una partícula radiactiva viaja a una velocidad mayor que la de la luz dentro del aire, produce un cono de luz equivalente al de choque de un avión supersónico. Incidentalmente este fenómeno es el responsable del brillo de los materiales radiactivos cuando están dentro del agua, y algunos incluso en el aire (para saber más sobre el efecto Cherenkov puedes leer [Más rápido que la luz](#) aquí en *Cienciorama*).

Los rayos cósmicos pueden crear radiación de Cherenkov, sin embargo, para que seamos capaces de detectarlos en la Tierra tiene que ocurrir un efecto preliminar llamado baño de cascadas. Este efecto únicamente lo producen los rayos cósmicos con mayor energía, y consiste en que cuando chocan con un átomo de la atmósfera se destruyen y en su lugar se generan partículas secundarias. Estas partículas tienen aún una cantidad gigantesca de energía, de modo que chocarán con otros átomos de la atmósfera y crearán nuevas partículas, etc. Este proceso se repite muchas veces por lo que se pueden detectar mediante la técnica de radiación Cherenkov. Una sola partícula puede generar desde un millón hasta miles de millones de partículas secundarias e

investigando la dirección de unos cuantos miles de estas partículas es posible saber las características del rayo original. En nuestro país existe un observatorio capaz de detectar estas partículas, el Detector Cherenkov de Gran Altitud (High Altitude Water Cherenkov detector, o HAWC por sus siglas en inglés), que también es capaz de detectar rayos gamma (para saber más sobre este proyecto, puedes leer [HAWC: astronomía de rayos gamma desde México](#) aquí en *Cienciorama*).

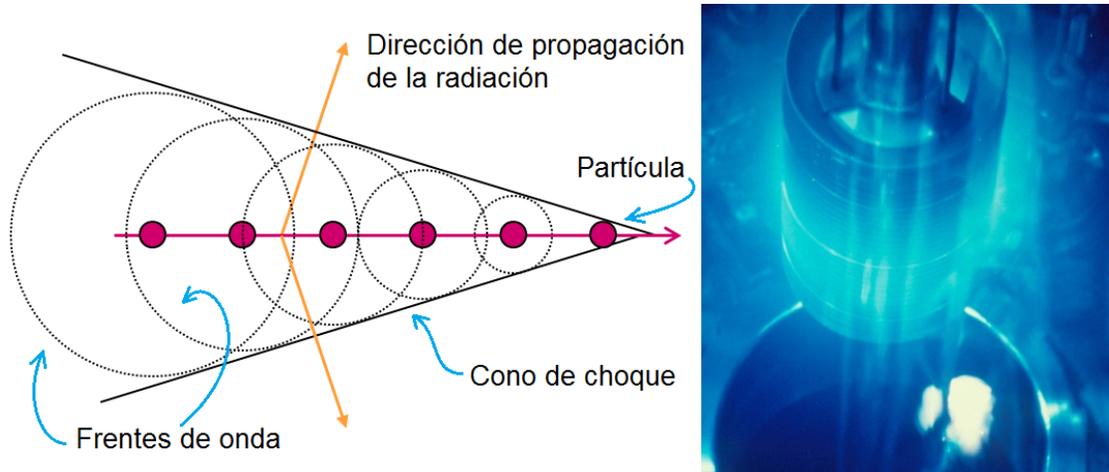


Figura 5. Efecto Cherenkov. A la izquierda el principio de funcionamiento, a la derecha un ejemplo de la luz Cherenkov.

Una de las cosas que se ha podido constatar acerca de las partículas que componen a los rayos cósmicos es que han estado viajando por mucho tiempo, ya que su edad estimada es de unos 10 millones de años en promedio. Por otra parte, debido a que tienen carga eléctrica, su dirección de viaje se desvía cada vez que interactúan con un campo magnético. En nuestra galaxia existen diferentes fenómenos que producen campos magnéticos, de modo que los rayos cósmicos son constantemente desviados de su dirección original, y también el campo magnético de nuestro propio planeta hace otro tanto; por ello es imposible saber su lugar de origen simplemente midiendo la dirección en la que viajan cuando llegan a la Tierra.

Las primeras luces sobre el misterio

Como hemos dicho, la cuestión del origen de los rayos cósmicos aún no está resuelta y es un campo de búsqueda activo. Aun así esta cuestión ha generado

un amplio debate en la comunidad científica, y se han propuesto muchos modelos.

La primera teoría plausible fue propuesta por el gran Enrico Fermi, un científico italiano que tuvo una carrera meteórica que lo llevó desde su tranquila Roma natal hasta ser uno de los principales genios detrás del proyecto Manhattan, en el que se fabricó la primera bomba atómica. Fermi tenía una intuición fuera de serie en todas las áreas de la física y al abordar el problema de los rayos cósmicos se dio cuenta de que sería necesario pensar en nuevos mecanismos aún no descubiertos. En concreto propuso que en las supernovas podía existir un mecanismo para la creación de rayos cósmicos. Las supernovas son estrellas que han agotado sus reacciones nucleares, de modo que sufren un colapso gravitatorio en el que gran parte de la masa de la estrella se comprime en su centro, mientras que la masa restante es expulsada en una violenta explosión. A pesar de que la explosión de una supernova produce cantidades inimaginables de energía, los rayos cósmicos están acelerados a energías aún mayores.

¿Cómo hacen las partículas expulsadas para obtener esta energía extra? La respuesta es compleja pero podemos resumir la idea diciendo que se dan la vuelta para que la explosión las vuelva a impulsar. Esto suena un poco absurdo pero es posible con la participación del campo magnético de la supernova.

Aunque los campos magnéticos son incapaces por sí mismos de incrementar la velocidad de una partícula, lo que sí pueden hacer es cambiar la dirección en la que las partículas se desplazan siempre y cuando éstas tengan carga eléctrica. Por otra parte cuando una supernova explota, las líneas de su campo magnético se ven comprimidas más allá del lugar de la explosión. Cuando los núcleos atómicos expulsados por la explosión se encuentran con el campo magnético comprimido, éste los hace cambiar de dirección, y muchos de ellos terminan regresando nuevamente en dirección a la explosión. Este efecto se conoce como espejo magnético. Al repetirse varias veces este ciclo, las partículas se logran acelerar a grandes velocidades.

Aunque esta propuesta de Fermi parecía dar luz acerca del origen de los rayos cósmicos, cálculos posteriores demostraron que el mecanismo es extremadamente ineficiente, y para que las partículas de la explosión alcancen la energía que medimos en los rayos cósmicos tendría que pasar tanto tiempo como la edad del universo. Pero con esta idea se pudieron proponer nuevos mecanismos. En la década de 1970 se demostró que si en el espacio interestelar se produjera algún evento que expulse gases a una velocidad mayor que la del sonido en el medio interestelar (o sea la velocidad típica de las moléculas en el tenue gas interestelar) y se creara un frente supersónico,

las partículas alcanzadas por este frente se acelerarían muy rápidamente, además de que un frente de choque supersónico también crearía un efecto de espejo magnético por delante de él que haría que las partículas ganaran más y más energía.



Figura 6. Los rayos cósmicos de baja energía al parecer son producidos en las ondas de choque de las supernovas.

Es interesante notar que Fermi, después de conocer estas ideas, demostró que con este nuevo mecanismo se podría explicar la distribución de velocidades de los rayos cósmicos que llegan a la Tierra hoy en día.

Un camino lleno de física

Hemos expuesto un breve panorama acerca de los rayos cósmicos. A diferencia de muchas otras áreas, lo que se puede decir acerca de ellos no es concluyente, pues hay aún un montón de física por descubrir en los rayos cósmicos y en muchos otros fenómenos astronómicos, entre ellos la materia

oscura y la energía oscura, así que te recomiendo seguir de cerca todo lo que se está descubriendo en estas áreas, ya que seguramente durante estos años veremos nuevos descubrimientos dramáticos que van a ampliar nuestra visión del universo. Hasta luego, ¡y no dejes de seguir la ciencia!

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, 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.

Créditos de las Figuras

Figura inicial: <https://goo.gl/RwL1Nk>

Figura 1: Spontaneous Ionization to Subatomic Physics: Victor Hess to Peter Higgs. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysbps.2013.09.008>

Figura 2: <https://goo.gl/2rgu9h>

Figura 3: <https://goo.gl/49Y6em>

Figura 4: <http://aviamilve.blogspot.com/2015/02/CA057.html>

Figura 5: <https://goo.gl/i4Gg2t>

Figura 6: <https://goo.gl/noZnFq>