

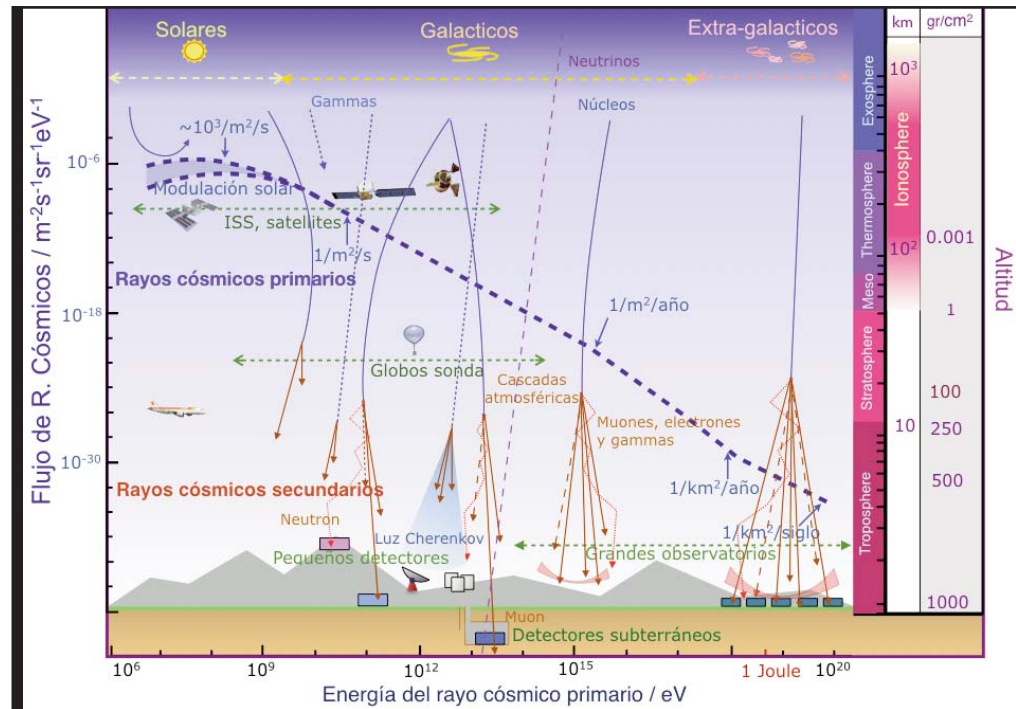
LOS RAYOS CÓSMICOS: UNA NUEVA VENTANA AL UNIVERSO

Pilares científicos

Los rayos cósmicos son partículas subatómicas de gran energía, en su mayor parte protones y núcleos atómicos, que inciden sobre la Tierra provenientes del espacio. Los descubrió el científico austriaco Victor F. Hess a partir de medidas realizadas en varios viajes en globo entre 1911 y 1913. Hess observó que el contenido de iones en la atmósfera crecía a partir de cierta altura, lo que evidenciaba la llegada de una radiación ionizante externa. También probó su origen no solar, repitiendo las medidas durante un eclipse de Sol. Por este descubrimiento recibió el Premio Nobel de Física en 1936, compartido con Carl D. Anderson, que más tarde descubriría el positrón (la antipartícula del electrón), también en experimentos con rayos cósmicos.

La composición de los rayos cósmicos es, en general, muy parecida a la media del Sistema Solar. Dominan los protones, hasta casi un 89%, y los núcleos de helio, aproximadamente un 10%, siendo el resto núcleos de todos los demás elementos estables conocidos, hasta el uranio. En comparación con la composición del Sistema Solar, se observa un cierto exceso de los núcleos próximos al carbono, como el litio, el berilio y el boro, así como de los próximos al hierro. Dichos elementos no se producen en los procesos de nucleosíntesis en el interior de las estrellas; su presencia es debida a procesos de astillamiento (*spallation*) de los muy abundantes núcleos de carbono y de hierro al impactar con la materia interestelar, proceso por el cual pierden algunos nucleones dando lugar a núcleos más ligeros. Entre los rayos cósmicos también hay una pequeña proporción de electrones y de antimateria, principalmente positrones y antiprotones.

Al incidir en la atmósfera terrestre, los núcleos de más energía generan una cadena de reacciones nucleares que producen hasta miles de millones de partículas, los llamados rayos cósmicos secundarios, capaces de llegar hasta la superficie terrestre en forma de cascadas atmosféricas. En estas dominan los muones, una partícula fundamental inestable que puede penetrar hasta varios kilóme-



tros de profundidad en la corteza terrestre. En dichas cascadas también se producen electrones, positrones y fotones de muy alta energía (rayos gamma), además de protones y neutrones.

ENERGÍAS DE LOS RAYOS CÓSMICOS. Los núcleos presentes en los rayos cósmicos muestran un amplio espectro de energía cinética, que llega a superar varios órdenes de magnitud las energías alcanzables hoy en día en los más potentes aceleradores de partículas, aunque su intensidad decrece muy rápidamente con la energía. Los rayos cósmicos más energéticos que se han medido alcanzan una energía (por partícula) de alrededor de 3×10^{20} eV (~ 50 julios), equivalente a la energía cinética de una pelota de tenis o de golf lanzada a unos ciento cincuenta kilómetros por hora.

La imagen superior muestra el flujo de rayos cósmicos que incide sobre la atmósfera terrestre y un resumen de su origen y de los principales métodos de detección, así como su tasa de llegada a la atmósfera terrestre. A partir de una cierta energía, su tasa de llegada es tan pequeña que no se pueden medir directamente y sus propiedades (dirección, energía y masa) deben estimarse indirectamente a partir de las cascadas, medidas con grandes redes de detectores ins-

talados en tierra. Hoy día se tiene evidencia de que gran parte de ellos tiene su origen en nuestra galaxia, en la que han quedado atrapados debido a su campo magnético. A partir de una cierta energía su origen parece ser extragaláctico.

El Sol también emite un flujo continuo de partículas cargadas eléctricamente que se denomina viento solar, que es básicamente la corona solar en expansión (protones, núcleos de helio y electrones), y del que estamos protegidos por la magnetosfera terrestre. Las partículas del viento solar, de energía muy inferior a la de los rayos cósmicos de origen galáctico o extragaláctico, interactúan con los átomos y moléculas de la atmósfera dando lugar a las auroras boreales y australes. Ocasionalmente (unas diez veces por década), fenómenos violentos en la corona solar asociados al campo magnético pueden dar lugar a emisiones con energía suficiente para vencer el campo magnético terrestre y llegar a la superficie provocando aumentos repentinos en las tasas medidas en el suelo.

Además del interés que suscitan los rayos cósmicos desde el punto de vista fundamental, su largo viaje hasta nuestro planeta abre otros campos de interés en física: el estudio del campo magnético interplanetario, la actividad solar, la predicción de tormentas magnéticas o la

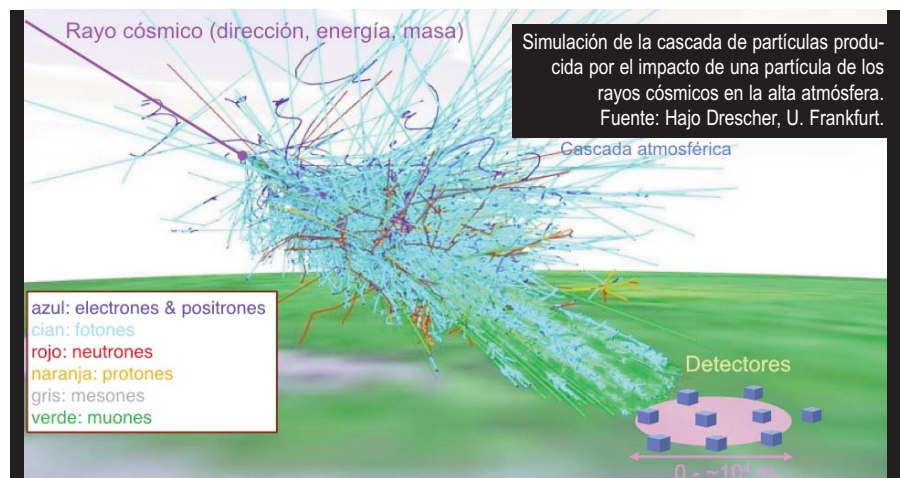
historia magnética del Sol, entre otros. Como ejemplo, a partir de los neutrinos producidos en las reacciones de rayos cósmicos en la alta atmósfera (neutrinos atmosféricos) un experimento en Japón, realizado en el observatorio de neutrinos Superkamiokande, permitió demostrar que estas partículas elementales poseen masa.

También la captura de neutrones de las cascadas atmosféricas por núcleos de nitrógeno y oxígeno de la atmósfera da lugar a los isótopos radioactivos carbono-14 (C^{14}) y berilio-10 (Be^{10}). Estos, junto con otros como Al^{26} , Cl^{36} o Ar^{37} , se denominan isótopos cosmogénicos y son especialmente útiles para la datación de restos orgánicos o para la reconstrucción histórica de llegada de rayos cósmicos a la Tierra e, indirectamente, de la actividad magnética solar*. Por último, los rayos cósmicos ofrecen aplicaciones prácticas en campos aparentemente lejanos. Así, a modo de rayos X, pueden ser usados como radiación penetrante para la búsqueda de cámaras ocultas en pirámides, para analizar la estructura interna de los volcanes o para la detección del tráfico ilegal de materiales pesados en contenedores de transporte.

LOS INCONVENIENTES. Pero no todo son ventajas. Los rayos cósmicos también pueden representar un peligro para los

humanos en misiones espaciales tripuladas y para los instrumentos en las naves espaciales o en satélites artificiales. Si bien nuestro cuerpo es atravesado continuamente por cientos de rayos cósmicos por segundo, los niveles de radiación solo representan una pequeña fracción de la dosis de radioactividad natural a la que estamos expuestos. Sin embargo, fuera de la atmósfera, la intensidad de los rayos cósmicos representa un riesgo potencial para la salud de los astronautas. Su impacto sobre las neuronas o las moléculas de ADN puede causar daños irreversibles. La cantidad de material necesaria para

revestir una nave espacial de forma eficiente hace que resulte problemático realizar misiones espaciales tripuladas a otros planetas -cuya duración podría ser de años- pues supondría la exposición de los astronautas a unos niveles de radiación excesivamente altos. Por otro lado, el impacto de los rayos cósmicos, en especial los de más baja energía, con la instrumentación electrónica y ordenadores a bordo de naves espaciales y satélites puede hacer fallar microcircuitos o dañar los sistemas de almacenamiento de datos, produciendo pérdida de información o problemas en las comunicaciones.



Incertidumbres

Más de cien años después de su descubrimiento, aún quedan muchas incertidumbres asociadas a los rayos cósmicos. Una de ellas está relacionada con su origen. Como están constituidos por partículas con carga eléctrica, no podemos extrapolar su dirección hasta su fuente. Se sospecha que pueden provenir de explosiones de supernova, de cúmulos de estrellas supermasivas y de algún mecanismo asociado a agujeros negros supermasivos próximos a los centros galácticos. Unos resultados recientes, obtenidos desde el observatorio Pierre Auger situado en Argentina, con unos mil seiscientos detectores desplegados sobre unos tres mil seiscientos kilómetros cuadrados, muestran que la incidencia de rayos cósmicos de mayor energía, capaces de vencer los campos magnéticos intergalácticos, muestra una distribución aproximada-

mente dipolar, ajena a la estructura de nuestra galaxia, confirmando su origen extragaláctico.

Otra incertidumbre está asociada a cómo alcanzan energías tan altas. Los mecanismos conocidos permiten explicar energías hasta cuatro o cinco órdenes de magnitud más bajas que las observadas. También existen dudas acerca de la composición de los rayos cósmicos de mayor energía, que se detectan indirectamente a partir del estudio de las cascadas atmosféricas, pues existen aún incertidumbres en los procesos nucleares que tienen lugar en la alta atmósfera y en los fenómenos de transporte de las partículas secundarias hasta su detección en tierra.

Un tema muy interesante y polémico es la posible influencia de los rayos cósmicos en el clima a lo largo de la historia terrestre. A su paso por distintas zonas de la galaxia, un exceso de rayos cósmicos podría haber producido un

exceso de iones en la atmósfera, una mayor formación de núcleos de condensación de vapor de agua, una mayor nubosidad y, como consecuencia, un enfriamiento. ¿Desempeñaron estos también un papel directo en la evolución de las especies?

Hasta muy recientemente toda la información que recibíamos del universo estaba basada en el espectro electromagnético. Desde hace unas décadas el estudio de los neutrinos nos permite "mirar" en el núcleo del Sol y, desde hace poco más de un año, hemos descubierto que el universo también puede ser estudiado mediante las ondas gravitacionales. Los rayos cósmicos, conocidos desde la primera década del siglo XX pero cuyo origen es todavía incierto, están aún sin explotar y pueden convertirse en una nueva ventana que abra nuestros ojos a descubrimientos sorprendentes.

* "Reconstrucción de la historia de la actividad magnética solar [...]". Número 51, IAA: Información y Actualidad Astronómica, página 23.