

AUGER ENFOCO

#13 Septiembre/Octubre, 2025

www.auger.org.ar



EL ESPECTRO DE ENERGÍA DE LOS RAYOS CÓSMICOS DE ULTRA ELEVADA ENERGÍA

El espectro de energía de los Rayos cósmicos de Ultra Alta Energía (UHECR) describe cuantitativamente cómo depende el flujo de partículas de la energía. Ha sido medido en el Observatorio Pierre Auger utilizando más de 960.000 eventos, en un rango de energías extremadamente amplio, desde $\sim 6 \cdot 10^{15}$ eV a $\sim 2 \cdot 10^{20}$ eV, muy por encima de la energía alcanzable en el mayor acelerador construido por el ser humano, el Gran Colisionador de Hadrones.

Si lo representamos como el flujo multiplicado por la tercera potencia de la energía en función de la propia energía, podemos observar algunos cambios de pendiente.

Las energías en las que se observan suelen denominarse con nombres relacionados con la anatomía de la pierna:

- Una segunda rodilla, la energía en la que se presume que la contribución de los rayos cósmicos galácticos se completa (hay una primera a menor energía, alrededor de 10^{15} eV).
- Un tobillo, en la región de energía donde se cree que ocurre la transición de rayos cósmicos de origen galáctico a extragaláctico.
- El empeine, observado por primera vez en Auger gracias a la enorme exposición.
- La región de supresión, donde el flujo cae fuertemente.

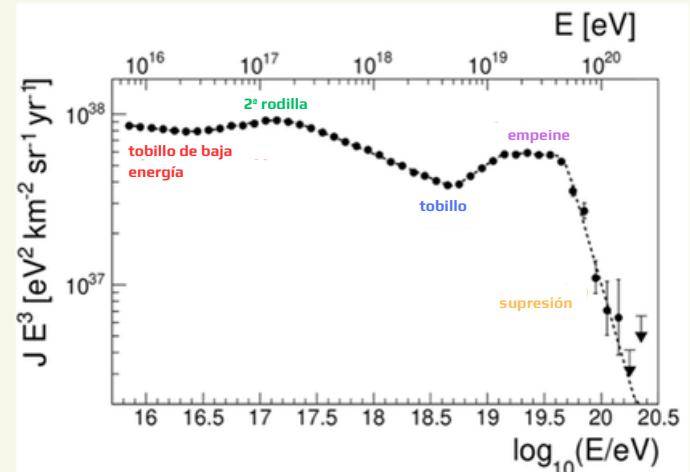


FIGURA 1: EL FLUJO DE LOS UHECRS EN FUNCIÓN DE LA ENERGÍA, MULTIPLICADO POR E^3 , PARA RESALTAR LOS CAMBIOS DE PENDIENTE.

HUELLAS DE LAS FUENTES DE LOS UHECR

Las estructuras del espectro de energía son huellas dejadas por las fuentes de UHECR, que brindan información sobre cuán poderosas son, cómo logran acelerar partículas a energías tan extremas y qué tan lejanas o comunes son.

La energía a la que ocurre el corte del flujo resulta ser muy baja, lo que sugiere que el origen de la supresión del flujo se debe principalmente al agotamiento de las fuentes más que a efectos de propagación.

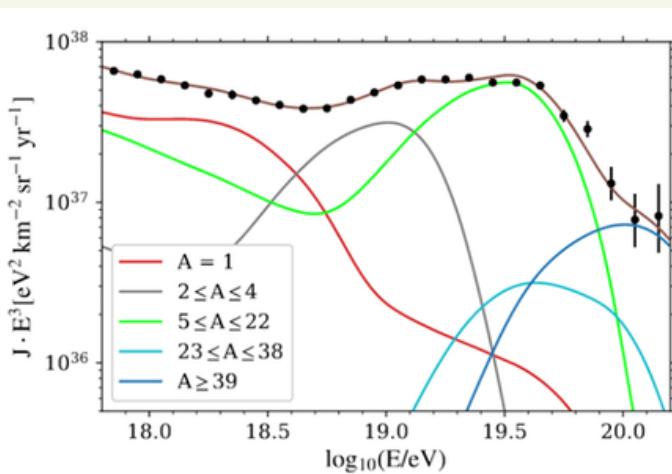


FIGURA 2: CONTRIBUCIONES PARCIALES DEL ESPECTRO DE ENERGÍA EN LA PARTE SUPERIOR DE LA ATMÓSFERA, AGRUPADAS SEGÚN LA MASA NUCLEAR A.

Bajo supuestos simplificados, al considerar conjuntamente el espectro de energía y el X_{\max} (la profundidad a la que la cascada alcanza su máximo, utilizado como un indicador de la composición en masa de los rayos cósmicos), los cambios de pendiente del espectro pueden correlacionarse con la evolución de la masa de los rayos cósmicos, que se vuelven más pesadas a medida que la energía aumenta:

- Por debajo del tobillo, los rayos cósmicos galácticos pesados se desvanece y una componente extragaláctica ligera toma el relevo.
- En la región del tobillo, la composición de los UHECR es intermedia y no ligera como se asumía previamente.
- La característica del empeine parece deberse a la interacción entre los componentes de helio y carbono-nitrógeno-oxígeno y sus secundarios.