

## ¿Cómo mide el Observatorio Pierre Auger la energía de los rayos cósmicos de ultra elevada energía (UHECR)?

El Observatorio Pierre Auger reconstruye las energías ultra elevadas de los rayos cósmicos (UHECR) a partir de la detección de lluvias de aire extensas (EAS). Las EAS son enormes cascadas de partículas secundarias producidas por millones de interacciones que depositan la energía del rayo cósmico primario en la atmósfera. El Observatorio emplea dos técnicas para medir las EAS. La mayor parte de la energía de los rayos cósmicos (RC) se disipa en partículas cargadas que excitan las moléculas de aire, produciendo luz fluorescente. Esta luz se mide mediante 27 telescopios, ubicados en cuatro ubicaciones diferentes, denominados Detectores de Fluorescencia (FD). Por lo tanto, el FD proporciona una medición de alta precisión de la energía del RC primario.

La tenue emisión de fluorescencia solo puede medirse en noches despejadas sin luna, es decir, alrededor del 15 % del tiempo. Para todos los demás eventos, la energía primaria debe estimarse indirectamente utilizando el arreglo de detectores de superficie (SD). Las 1660 estaciones del SD, espaciadas por 1,5 km, miden la señal producida por las partículas de la lluvia que alcanzan el nivel del suelo (Fig. 1, arriba a la izquierda). La intensidad de la señal medida es un indicador de la energía primaria. En particular, la señal en función de la distancia al eje de la lluvia se ajusta a la función de distribución lateral, para encontrar la señal a 1000 m del eje de la lluvia llamada  $S(1000)$ , como se muestra en la Fig. 1 abajo a la izquierda. Los valores de  $S(1000)$  se corrigen para la atenuación dependiente del cenit del contenido de partículas del EAS y luego se calibran de forma cruzada con la energía CR medida por el FD utilizando lluvias medidas simultáneamente por ambos detectores.

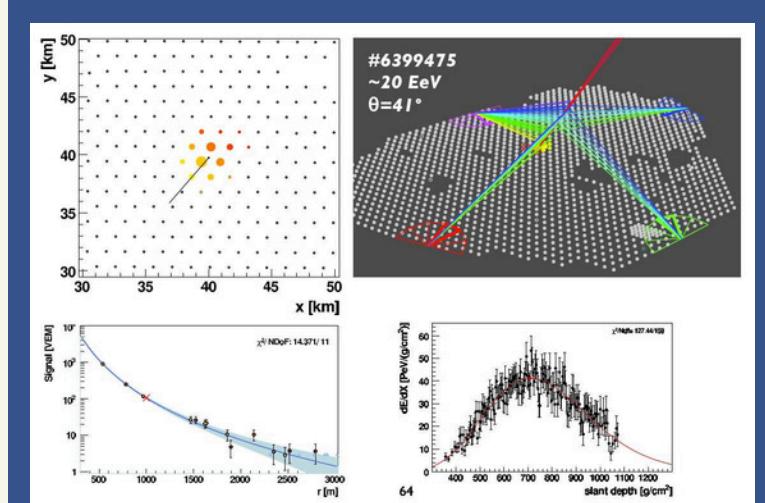


Figura 1. Superior izquierda: Huella de la lluvia de aire medida por el SD. Los colores indican el tiempo de llegada, mientras que el tamaño de los puntos ilustra la cantidad de señal total medida en cada estación. La línea negra es el eje de la lluvia proyectado sobre el terreno. Superior derecho: Vista 3D de un híbrido dorado estereoscópico. La lluvia (línea roja) es detectada primero por los telescopios FD (semicírculos segmentados rojo, verde, azul y morado). Las líneas de color indican el tiempo de observación de cada punto de la lluvia. Inferior izquierda: Señal SD ajustada en función de la distancia al eje de la lluvia. El valor de  $S(1000)$  se indica mediante una cruz roja, lo que permite una estimación de la energía primaria a partir de una medición solo con SD. Inferior derecho: Depósito de energía ajustada de la lluvia de aire en la atmósfera estimado a partir de la luz de fluorescencia medida por el FD.

Las lluvias atmosféricas detectadas por un telescopio FD y al menos una estación SD se denominan eventos híbridos. Si participan más de tres estaciones SD, lo que permite una reconstrucción SD independiente, el evento se denomina híbrido dorado. Si más de una estación FD observa el evento, se denomina evento estéreo. Por lo tanto, el evento del panel superior derecho de la Fig. 1 es un híbrido dorado estéreo.

## Los eventos más energéticos

Los 100 eventos más energéticos registrados entre el 1 de enero de 2004 y el 31 de diciembre de 2020 tienen energías entre  $78$  y  $166 \times 10^{18}$  eV [A. Abdul Halim et al. 2023, ApJS 264, 50]. El evento de mayor energía,  $(166 \pm 13) \times 10^{18}$  eV, se midió el 10 de noviembre de 2019 con 34 estaciones SD. Esta energía corresponde a 26,6 J, equivalente a una pelota de tenis a 110 km/h.

Créditos: Auger Early Career Collaborators Assembly