

El experimento de rayos cósmicos Piritakua



Antonio Galván, Andrés Sandoval, Maira Gloria Pérez Vielma, Rodrigo Alejandro Gutierrez-Arenas, Adiv Gonzalez Muñoz, Jesús Angel Martínez Mendoza, Hermes León Vargas

***XL Reunión anual de la División de Partículas y Campos
17 de junio de 2026, CINVESTAV***

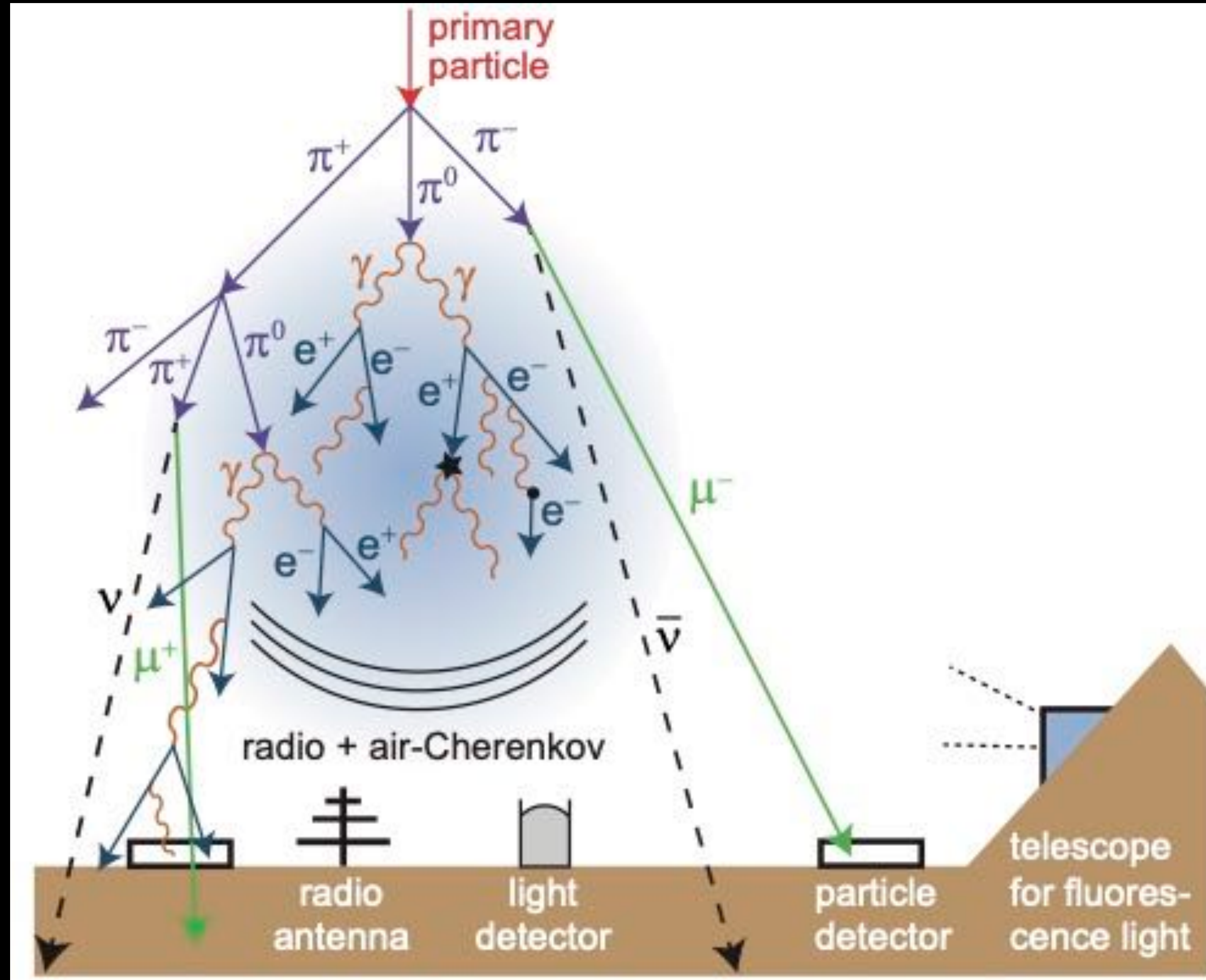


Rayos cósmicos



NASA

Cascadas atmosféricas



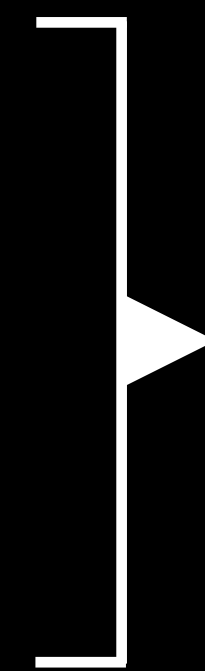
Progress in Particle and Nuclear Physics
F. G. Schröder, 93 (2017) 1-68

Una atmósfera muy dinámica

Cambios tanto periódicos como aperiódicos en la llegada de partículas secundarias

Cambios en:

- Presión
- Temperatura
- Densidad del aire
- Humedad



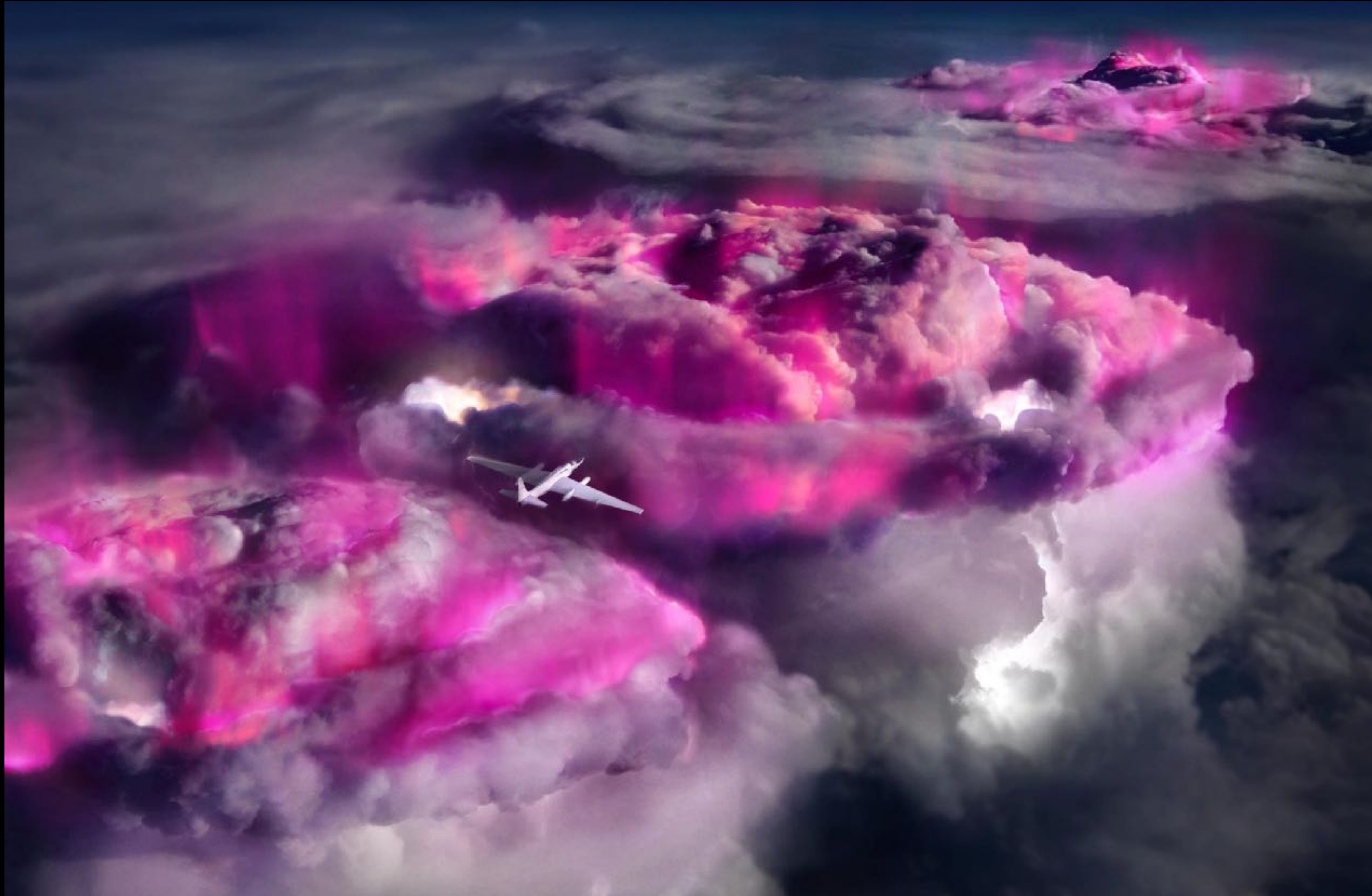
Produce variaciones en la cantidad de materia sobre el detector [$g\ cm^{-2}$]

- ◆ Cambios en la densidad → dispersión lateral de las partículas
masa sobre el detector → absorción
- ◆ Las propiedades electromagnéticas aceleran a las partículas

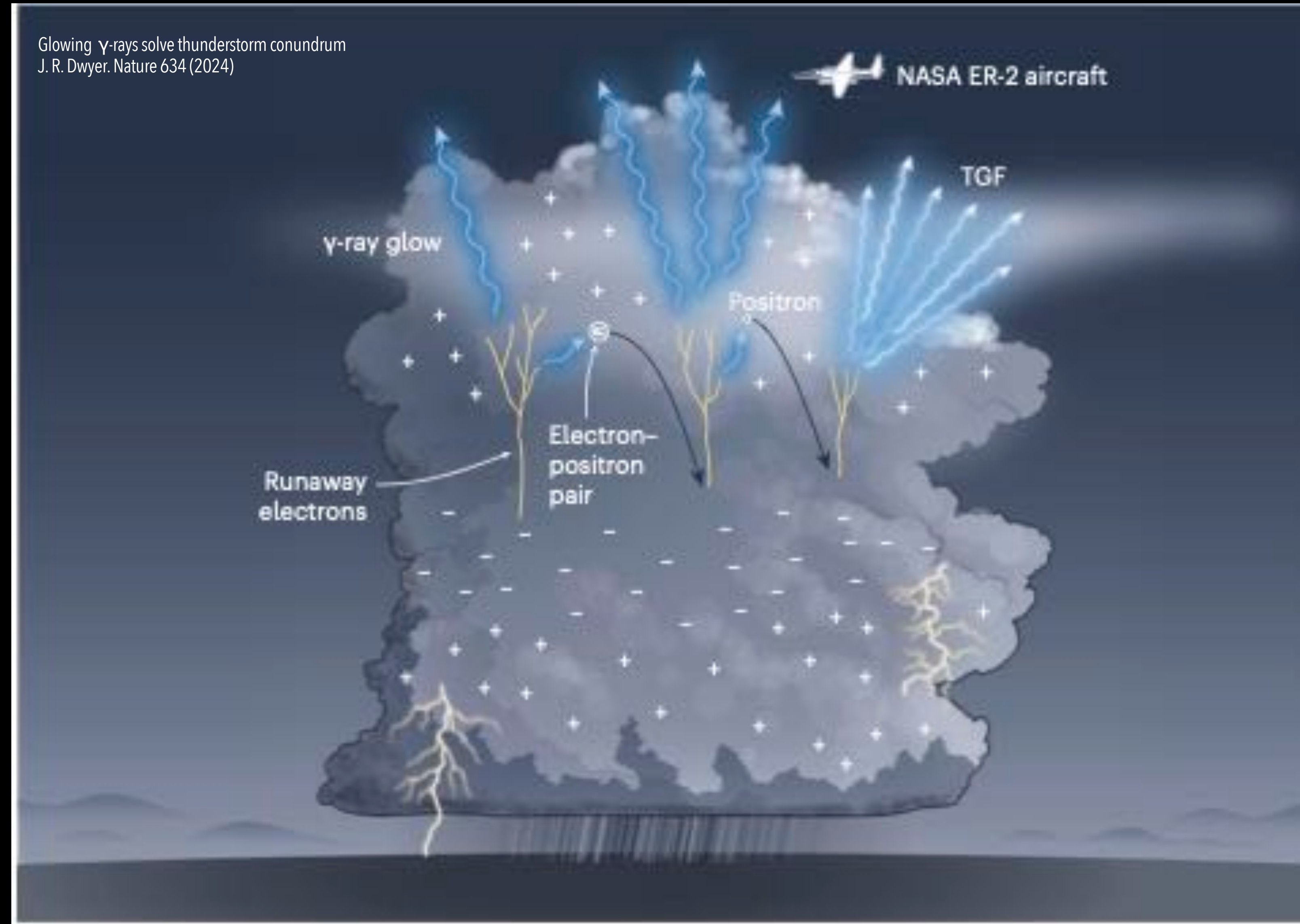
Es muy relevante el caracterizar estos efectos para poder hacer física de precisión usando rayos cósmicos

Física de altas energías (en la atmósfera)

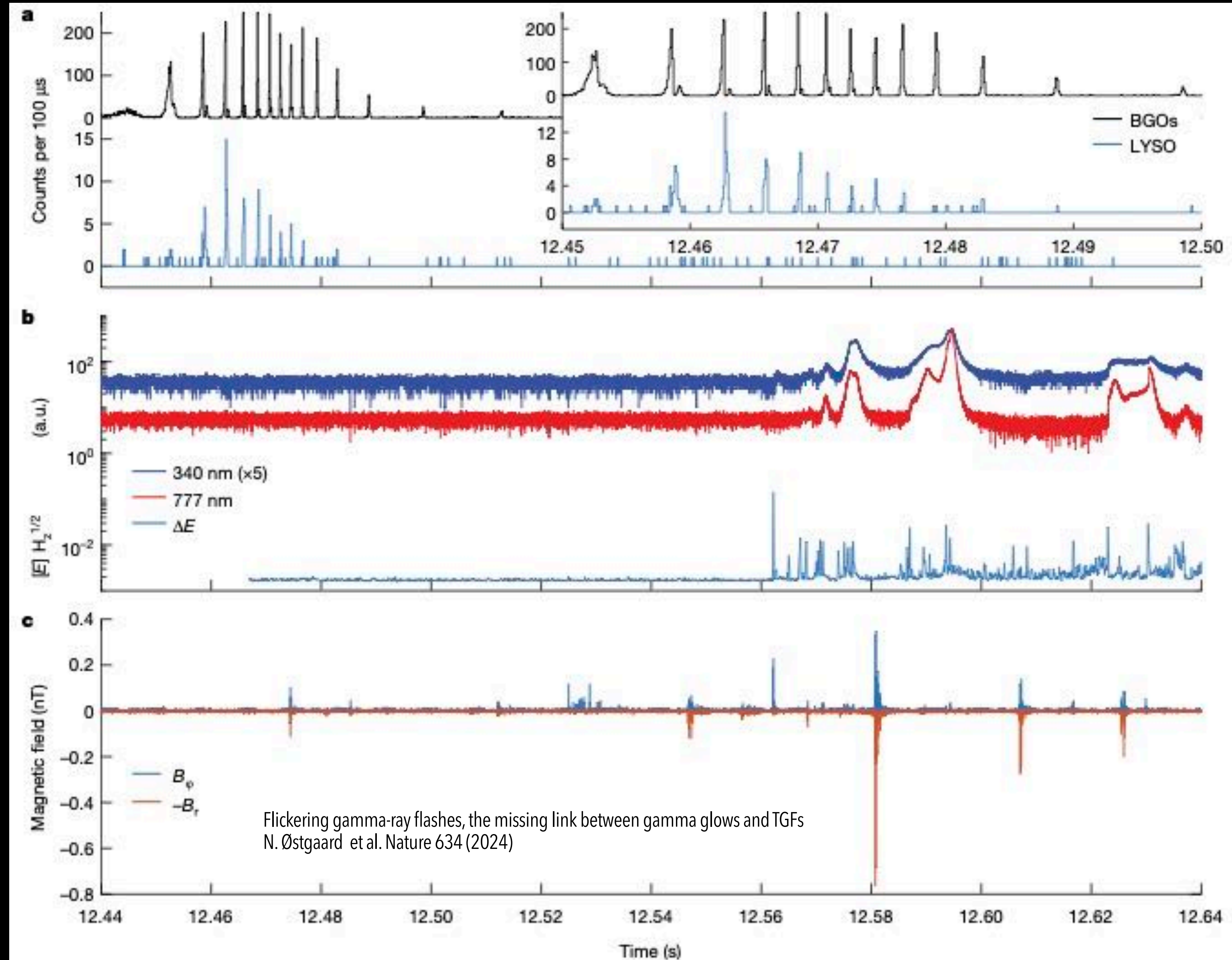
University of Bergen/Mount Visual
CC BY 4.0



Física de altas energías (en la atmósfera)



Física de altas energías (en la atmósfera)



1. Estudio sistemático de los efectos de las propiedades atmosféricas en la propagación de partículas secundarias
2. ¿Es posible medir fenómenos de radiación producidos por tormentas a 2,280 m s.n.m.?
 - Brillo de rayos gamma - Incrementos a nivel superficie producidos por tormentas (1-100's segundos)
 - Destellos de rayos gamma terrestres (10's-100's μs , con señales de radio y óptico)
 - Destellos de rayos gamma parpadeantes (20 - 250 ms, sin señales de radio u optico) [*Nature* 634 (Octubre de 2024)]

El experimento

Conjunto de sensores:

- Estación meteorológica Davis Vantage Pro
- Cámara hemisférica ALPHEA 6CW
- Sensor dual Boltek ERL 10-KIT2
- Magnetómetro de tres ejes SENSYS FGM3D
- Detectores de centelleo



El experimento

Conjunto de sensores:

- Estación meteorológica Davis Vantage Pro
- Cámara hemisférica ALPHEA 6CW
- Sensor dual Boltek ERL 10-KIT2
- Magnetómetro de tres ejes SENSYS FGM3D
- Detectores de centelleo



El experimento

Conjunto de sensores:

- Estación meteorológica Davis Vantage Pro
- Cámara hemisférica ALPHEA 6CW
- Sensor dual Boltek ERL 10-KIT2
- Magnetómetro de tres ejes SENSYS FGM3D
- Detectores de centelleo



El experimento

Conjunto de sensores:

- Estación meteorológica Davis Vantage Pro
- Cámara hemisférica ALPHEA 6CW
- Sensor dual Boltek ERL 10-KIT2
- Magnetómetro de tres ejes SENSYS FGM3D
- Detectores de centelleo



El experimento

Conjunto de sensores:

- Estación meteorológica Davis Vantage Pro
- Cámara hemisférica ALPHEA 6CW
- Sensor dual Boltek ERL 10-KIT2
- Magnetómetro de tres ejes SENSYS FGM3D
- Detectores de centelleo



El experimento

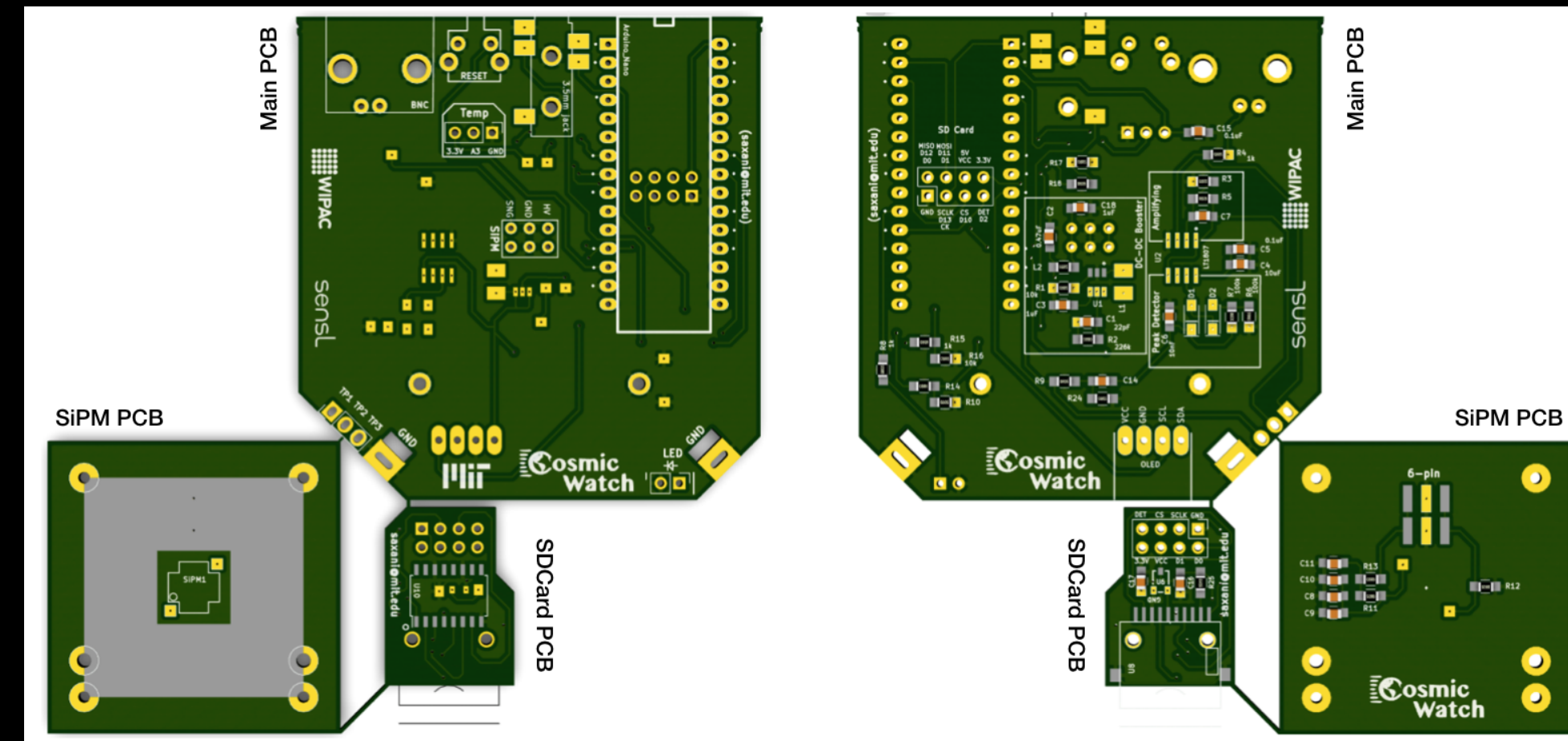
Conjunto de sensores:

- Estación meteorológica Davis Vantage Pro
- Cámara hemisférica ALPHEA 6CW
- Sensor dual Boltek ERL 10-KIT2
- Magnetómetro de tres ejes SENSYS FGM3D
- Detectores de centelleo



Detectores de centelleo

Basados en el proyecto CosmicWatch (<http://www.cosmicwatch.lns.mit.edu/>)

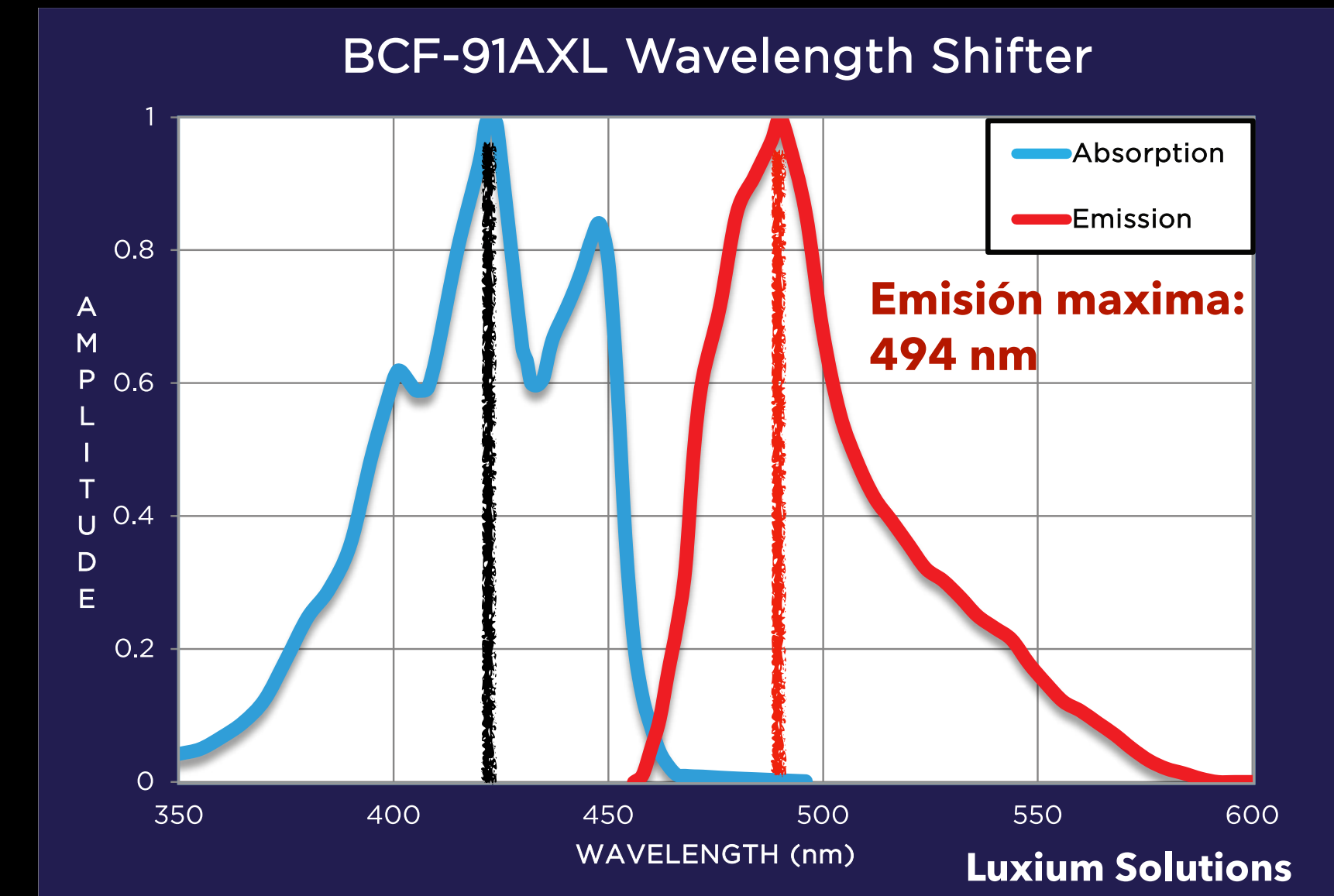
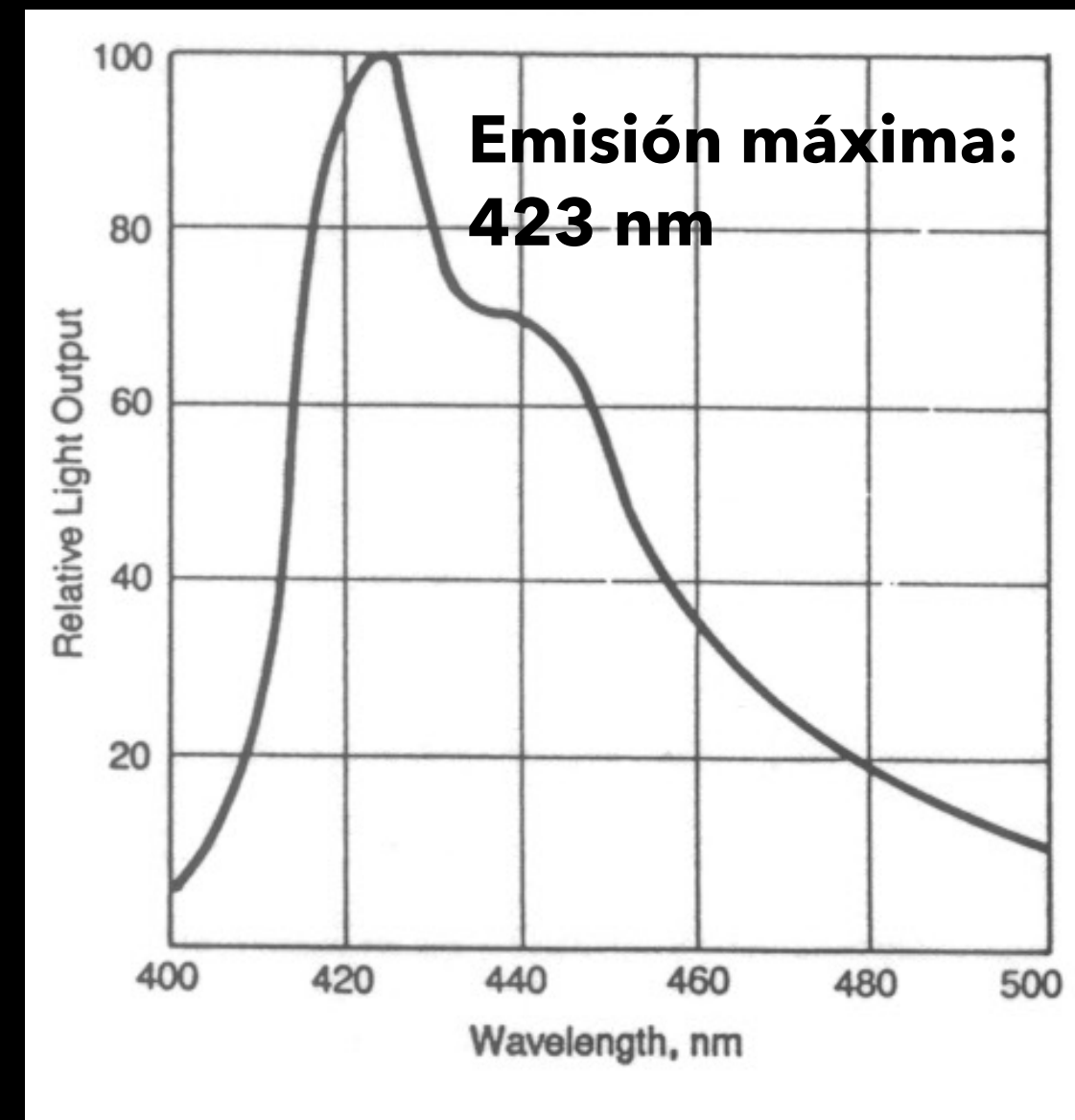
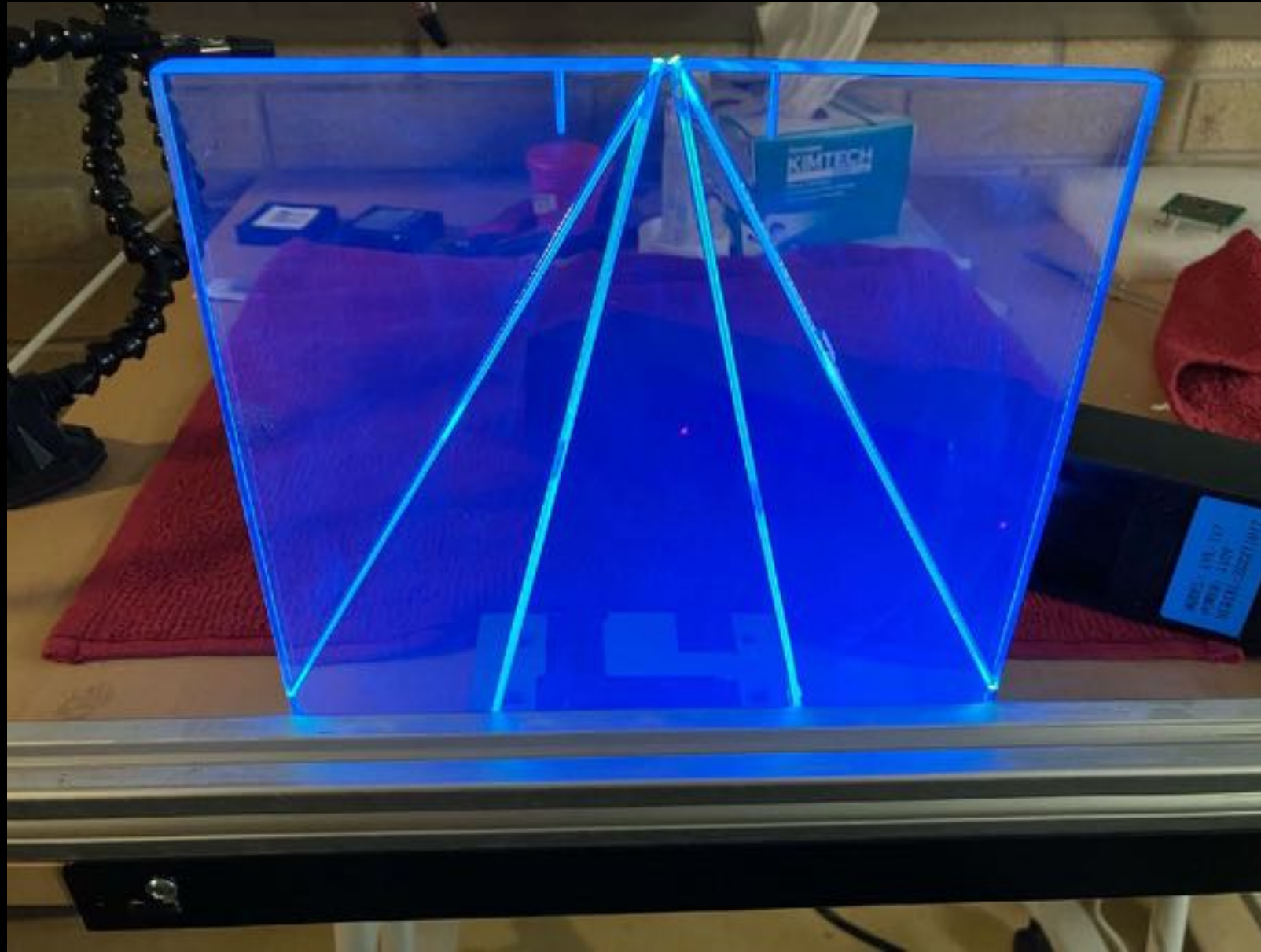


5 cm × 5 cm
× 1 cm



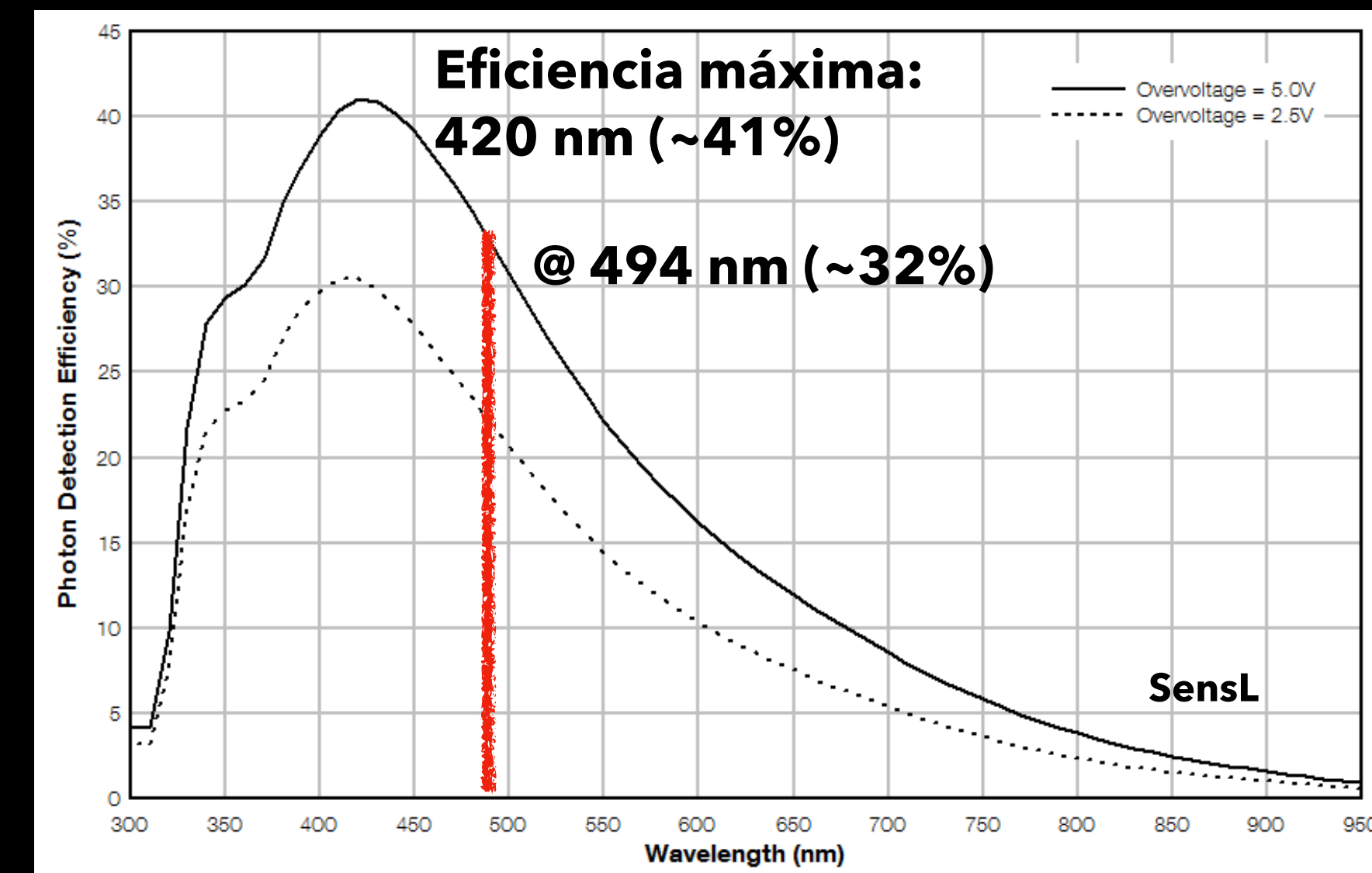
Mejoras en los detectores de centelleo

BC-400



Piezas de 20 cm × 20 cm × 1 cm
Uso de fibras corredoras de frecuencia

- Optimización del firmware
- Optimización del kernel de Ubuntu



SiPM

Mejoras en los detectores de centelleo

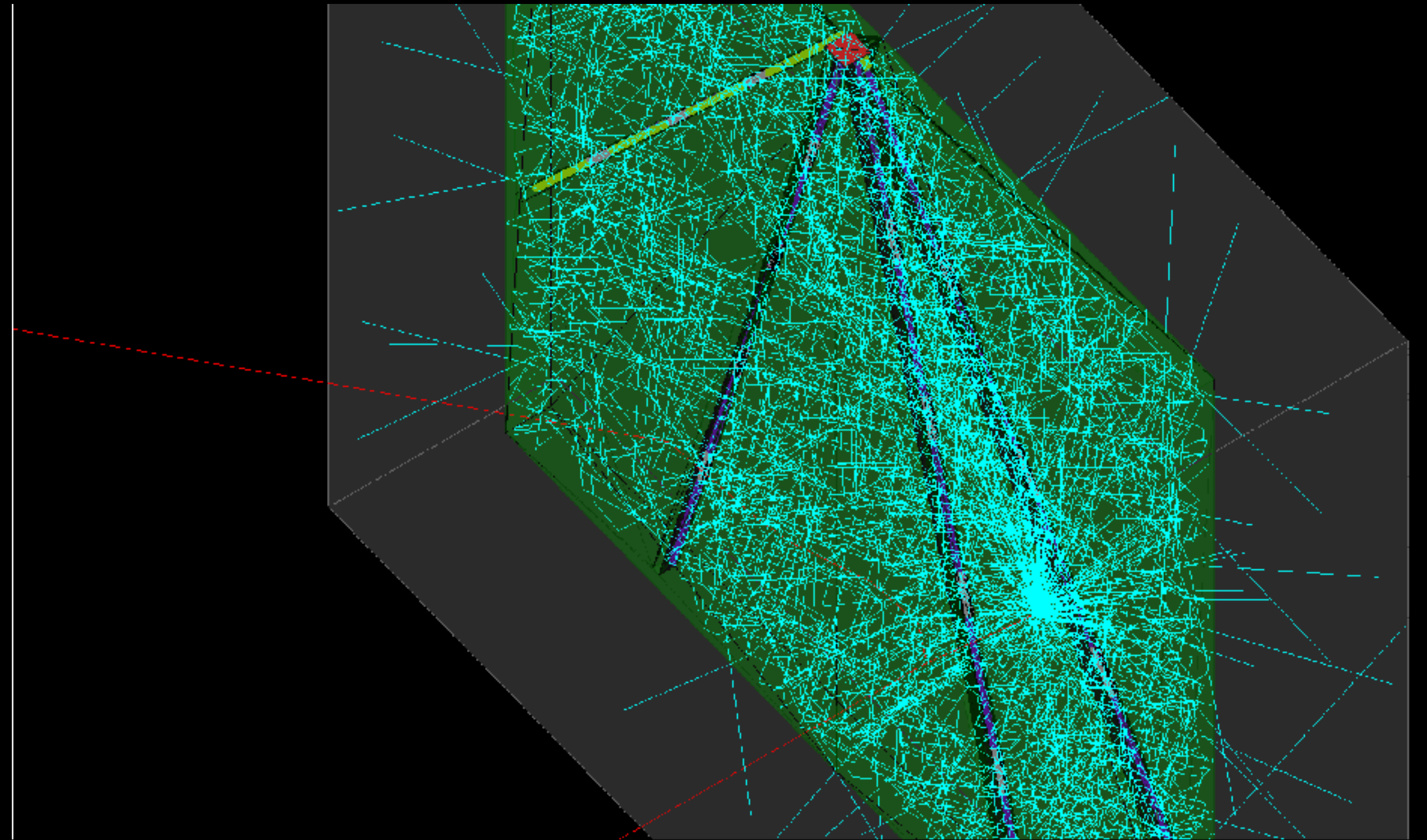
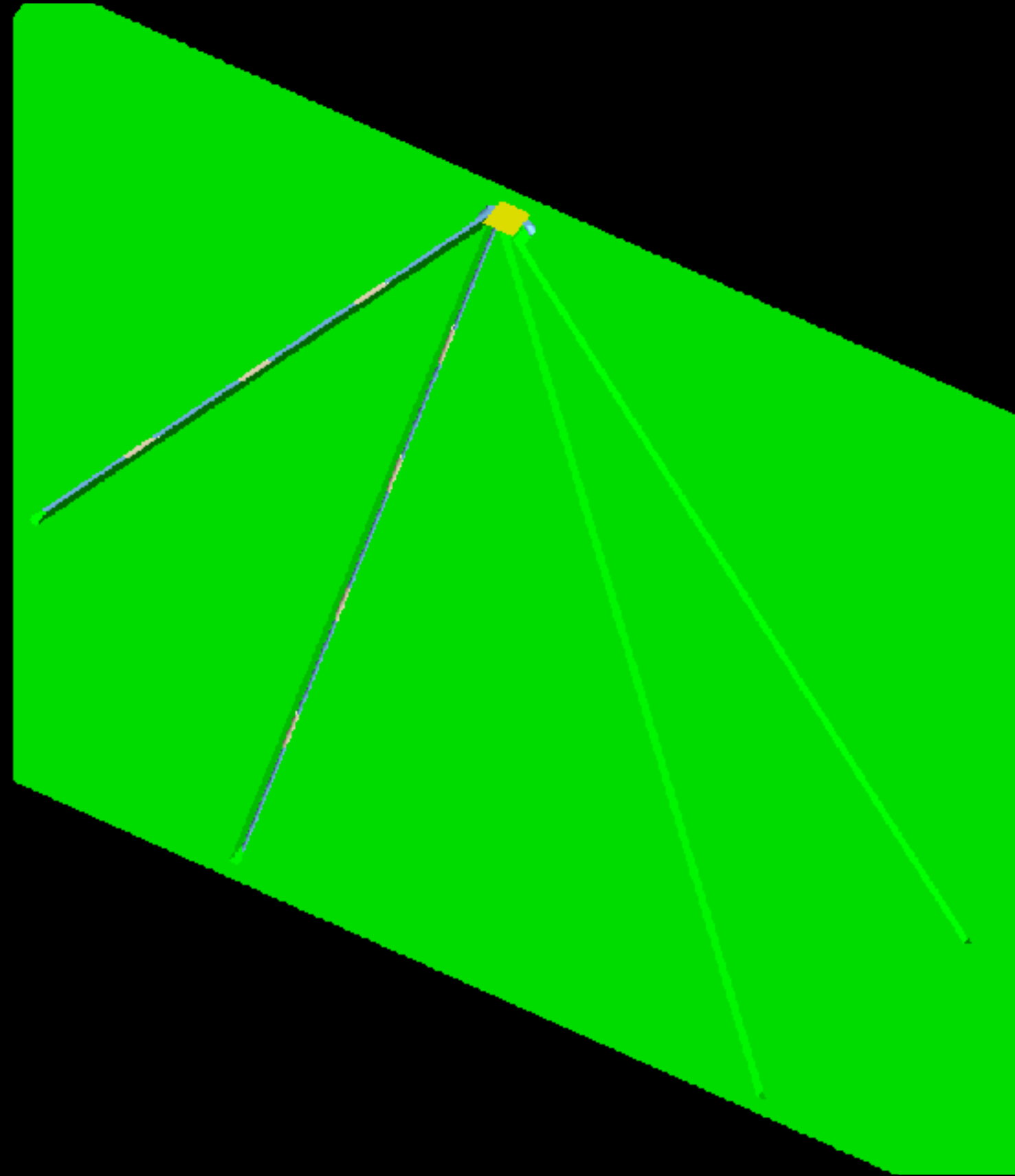


Limitaciones del puerto serial

- Solución con hardware: un buffer para hacer la recolección de datos más eficiente, usando Raspberry Pi

Sesión de carteles: ***Instrumentación del experimento Piritakua: retos y perspectivas***

Simulaciones con GEANT4



GEANT4, 11.4.1
1 MeV e^-
Thinning: 80

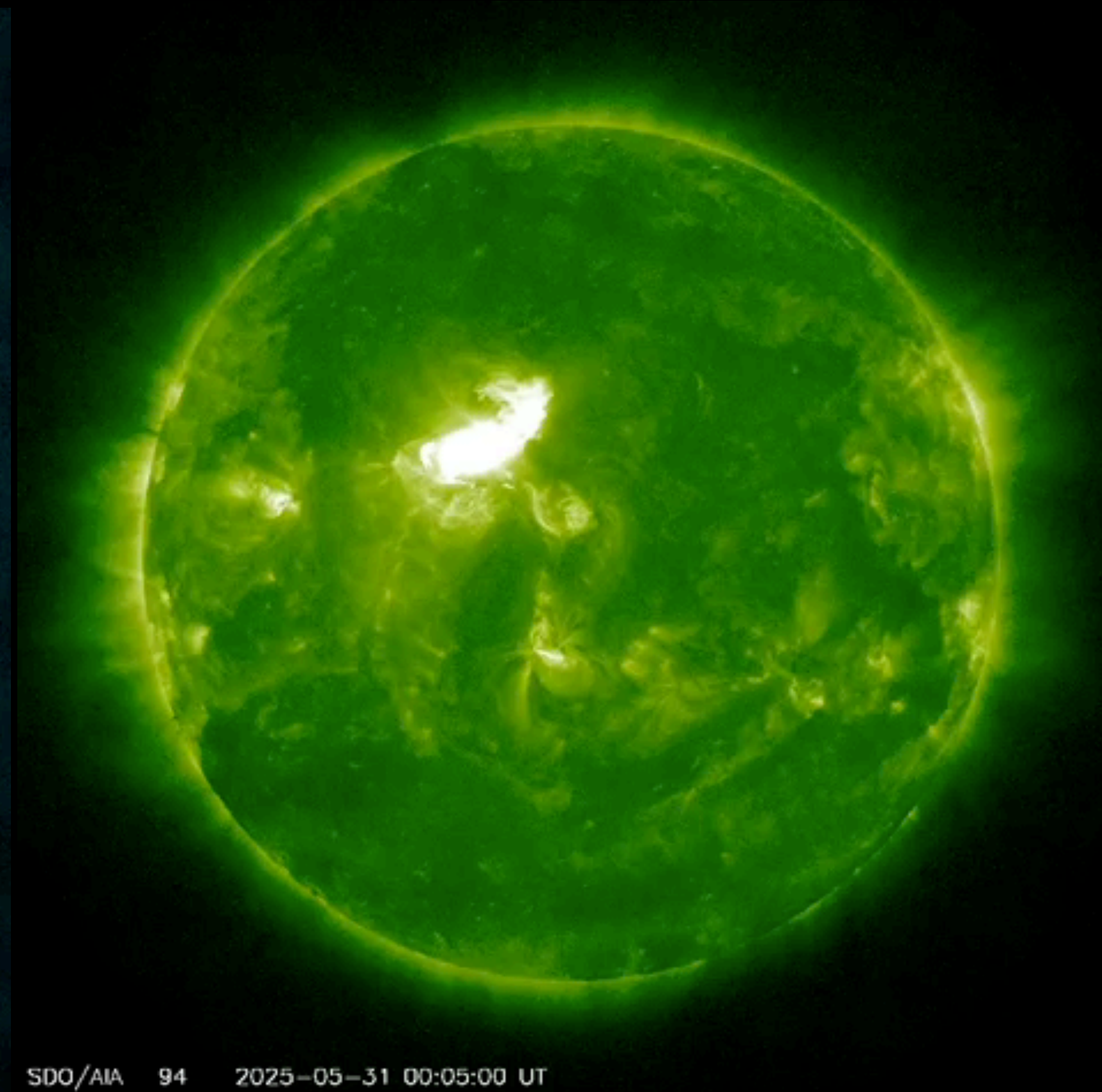
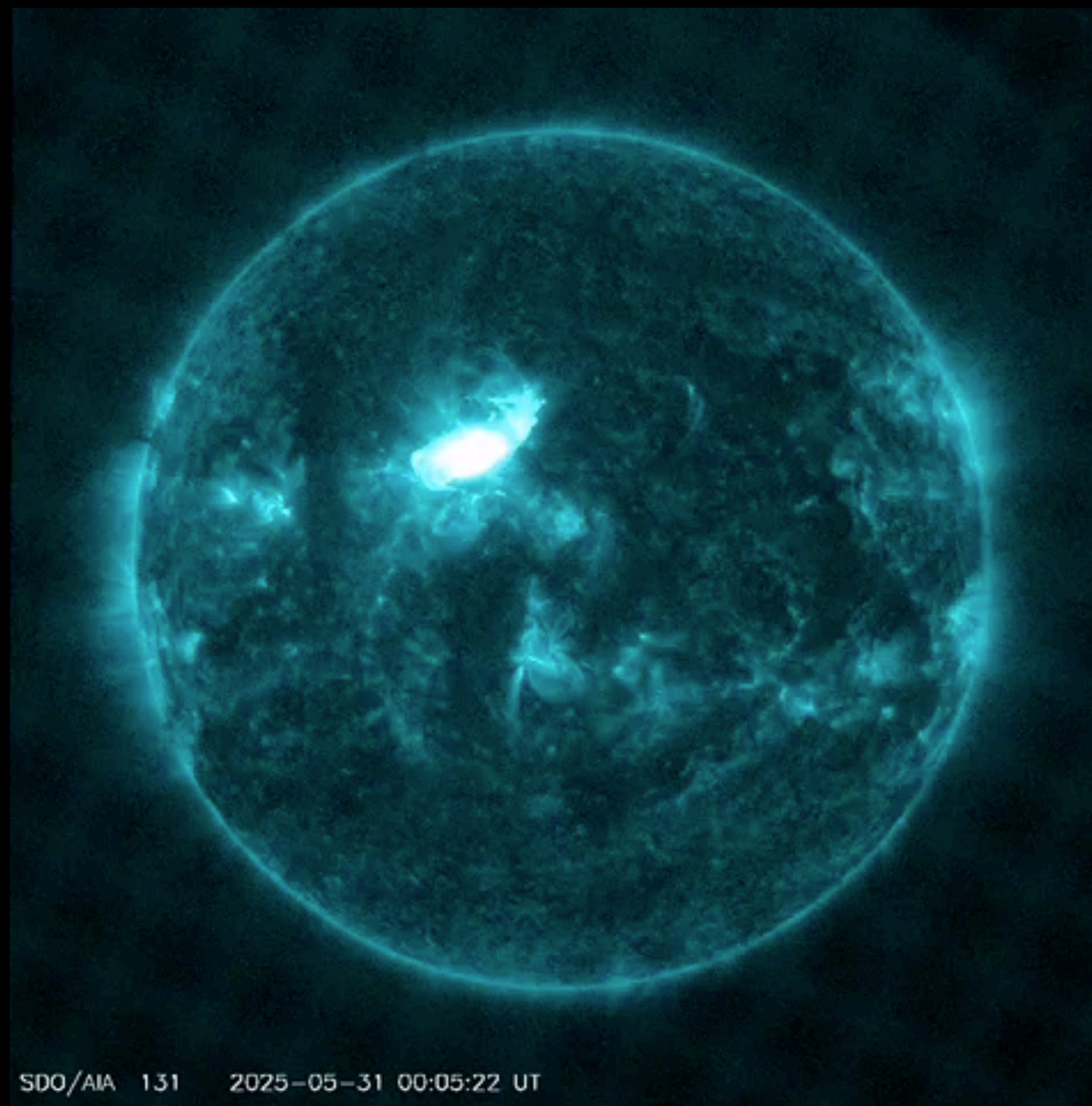
Jesús Martínez, Adiv González (TecNM Oaxaca)

Primeros resultados: Emisiones de masa coronal



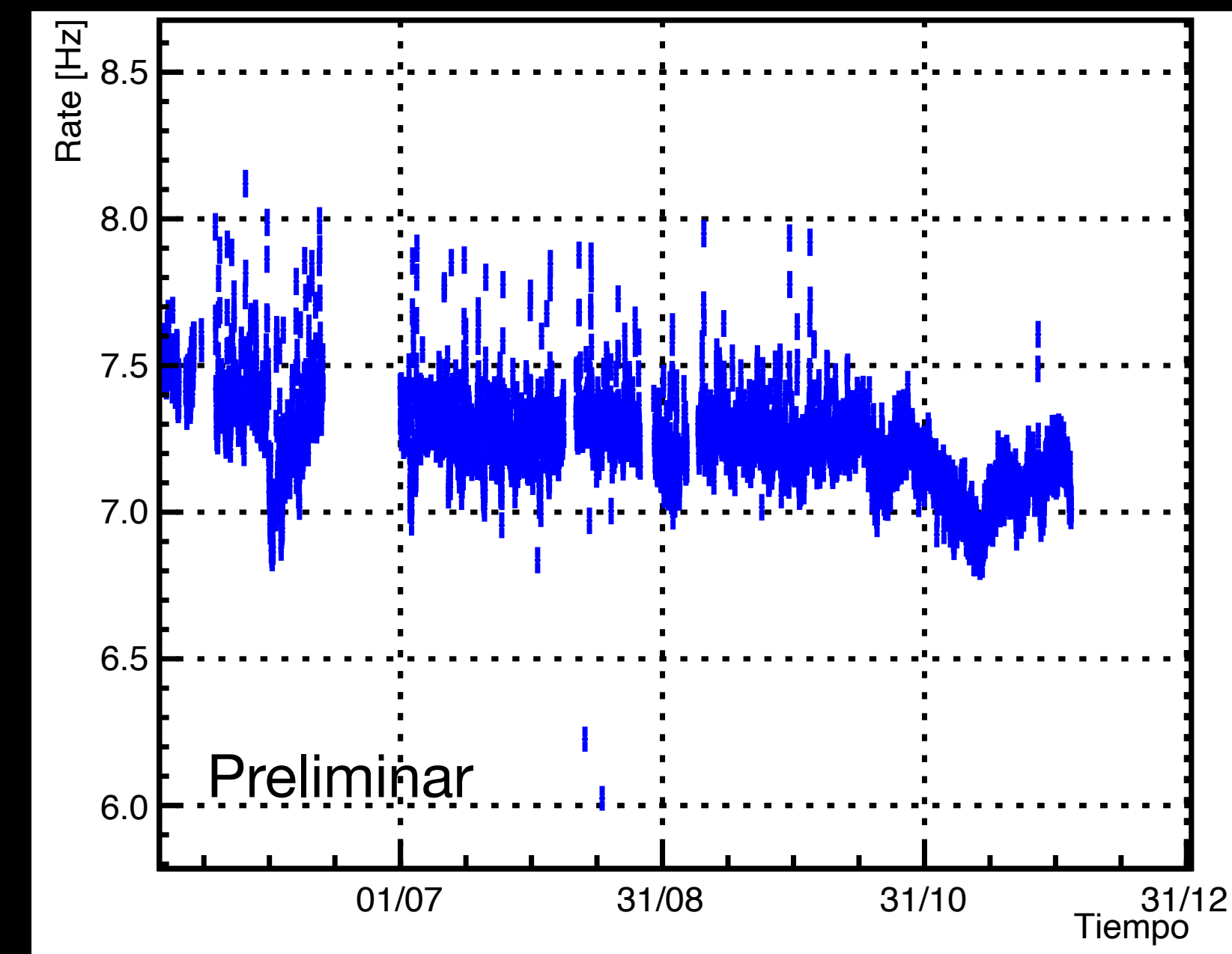
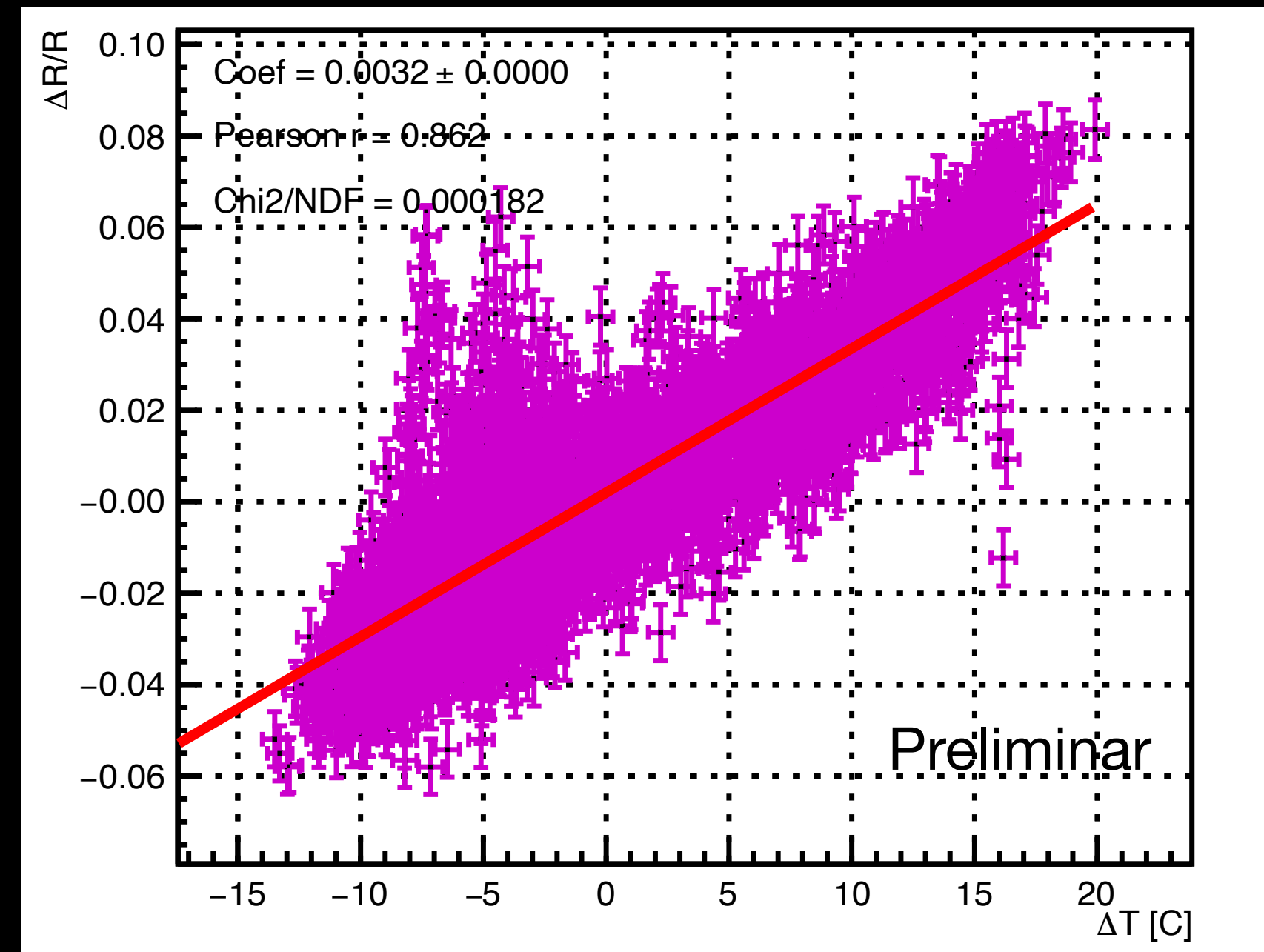
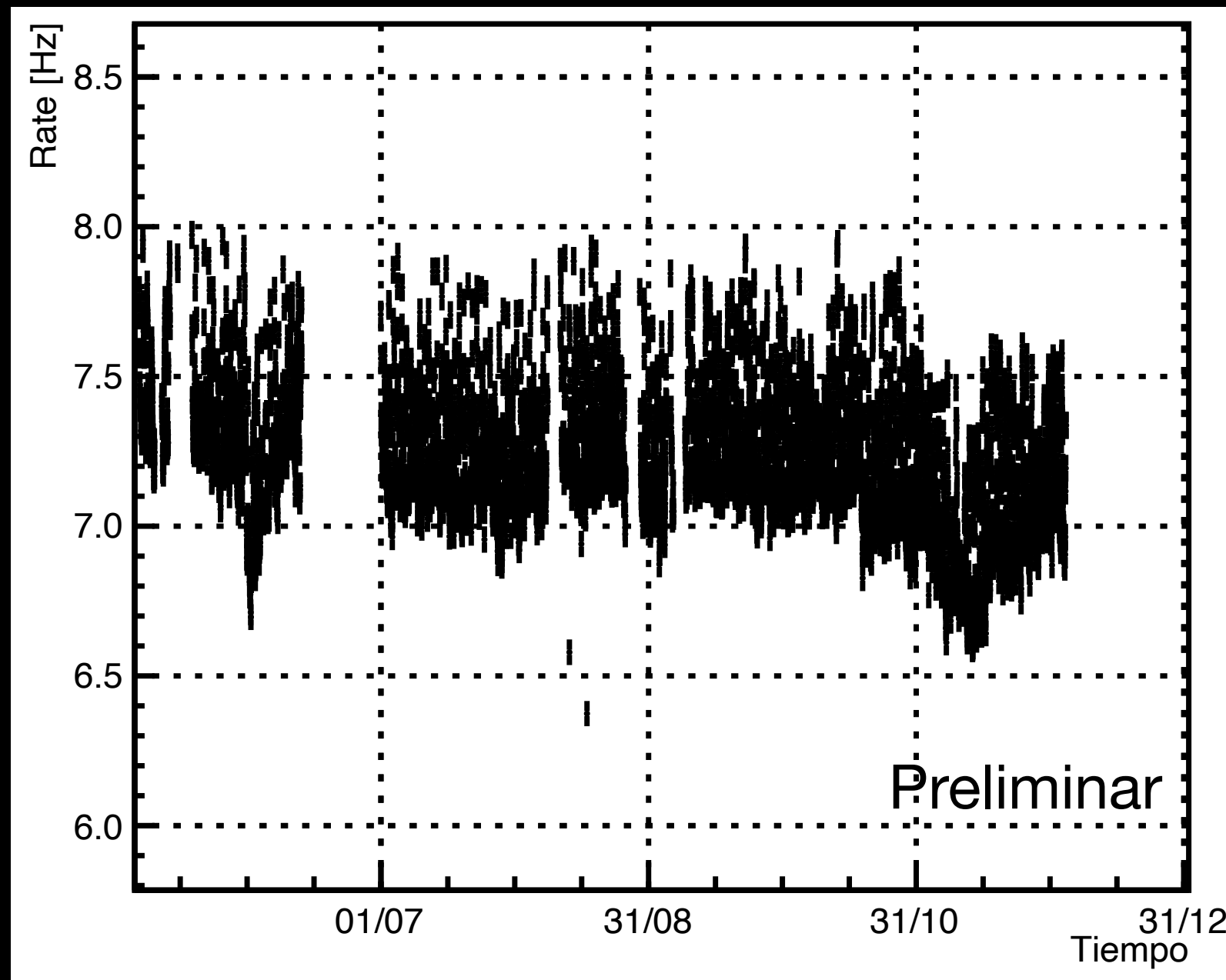
I. CME (Coronal Mass Ejection)

Una llamarada solar el 30 de mayo produjo una CME que llegó a la Tierra el 1 de junio. La actividad geomagnética fue clasificada como G4 (en la escala de G1 a G5).



Courtesy of NASA/SDO and the AIA, EVE, and HMI science teams.

Señales en los centelladores: Correcciones canal por canal



Cada detector tiene un sensor de temperatura propio

$$R_i(t) = R_i^0(t) \times e^{(-\alpha_i \times \Delta T_i)}$$

Combinación de canales



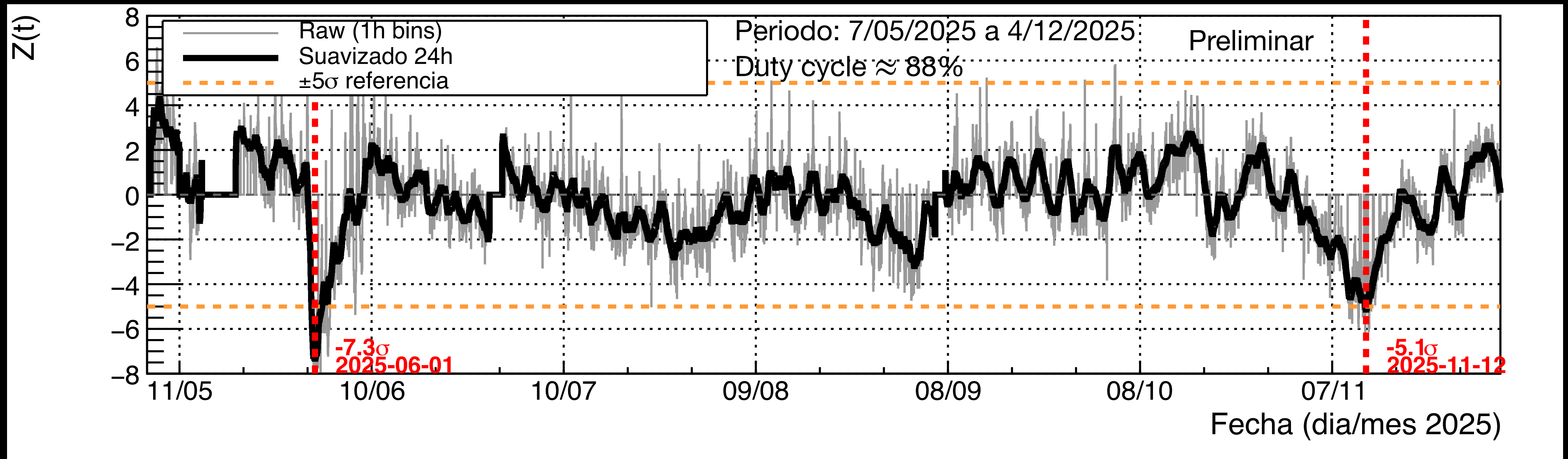
- Aplicación de *detrending* y suavizado para identificar estructuras de larga duración.
- 5 detectores más estables, cada uno con su rate y dispersión propia

$$z_i(t) = \frac{R_i(t) - \mu_i}{\sigma_i}$$

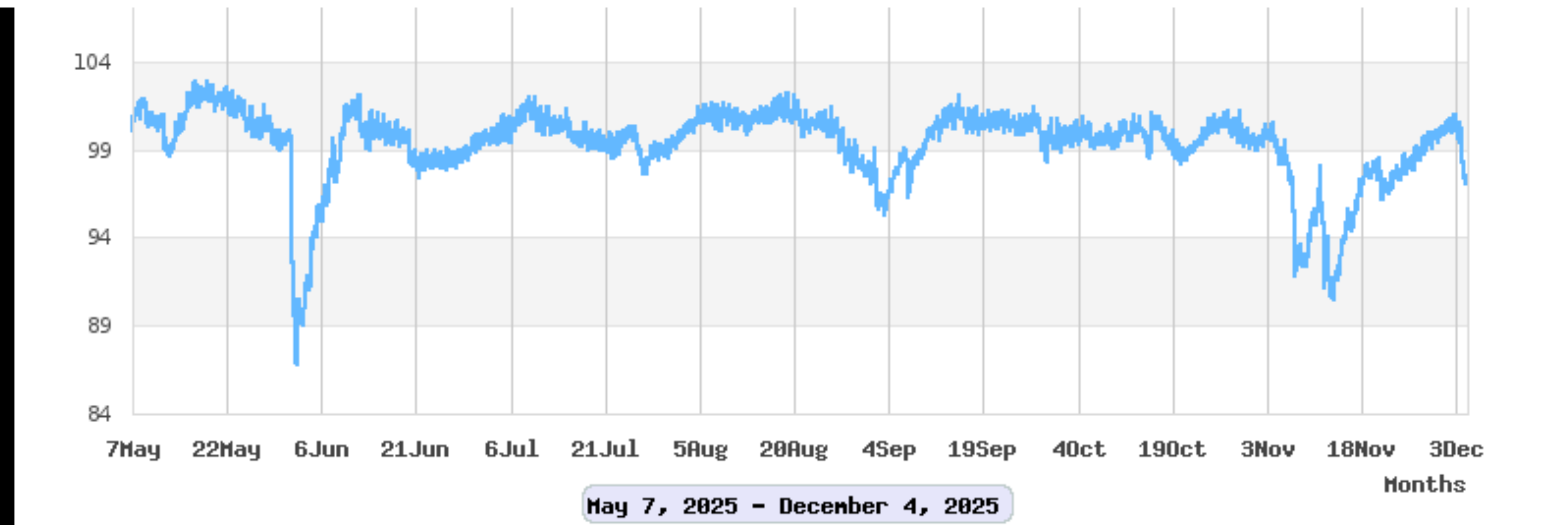
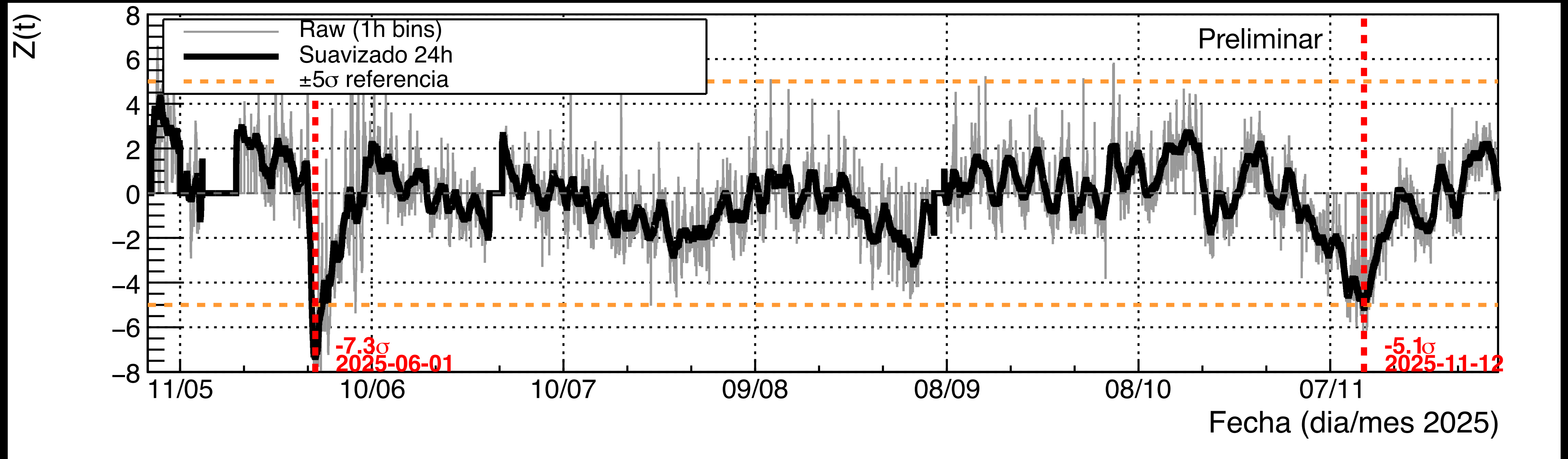
z-score: desviación del rate
en unidades de su propia
dispersión

$$Z(t) = \frac{\sum_i z_i(t)}{\sqrt{N(t)}}$$

para detectores independientes



Verificación con detectores de neutrones



<http://www.cosmicrays.unam.mx>

Observación de tormentas eléctricas



- Los campos eléctricos de las nubes de tormenta se forman a ≥ 3 km s.n.m.¹

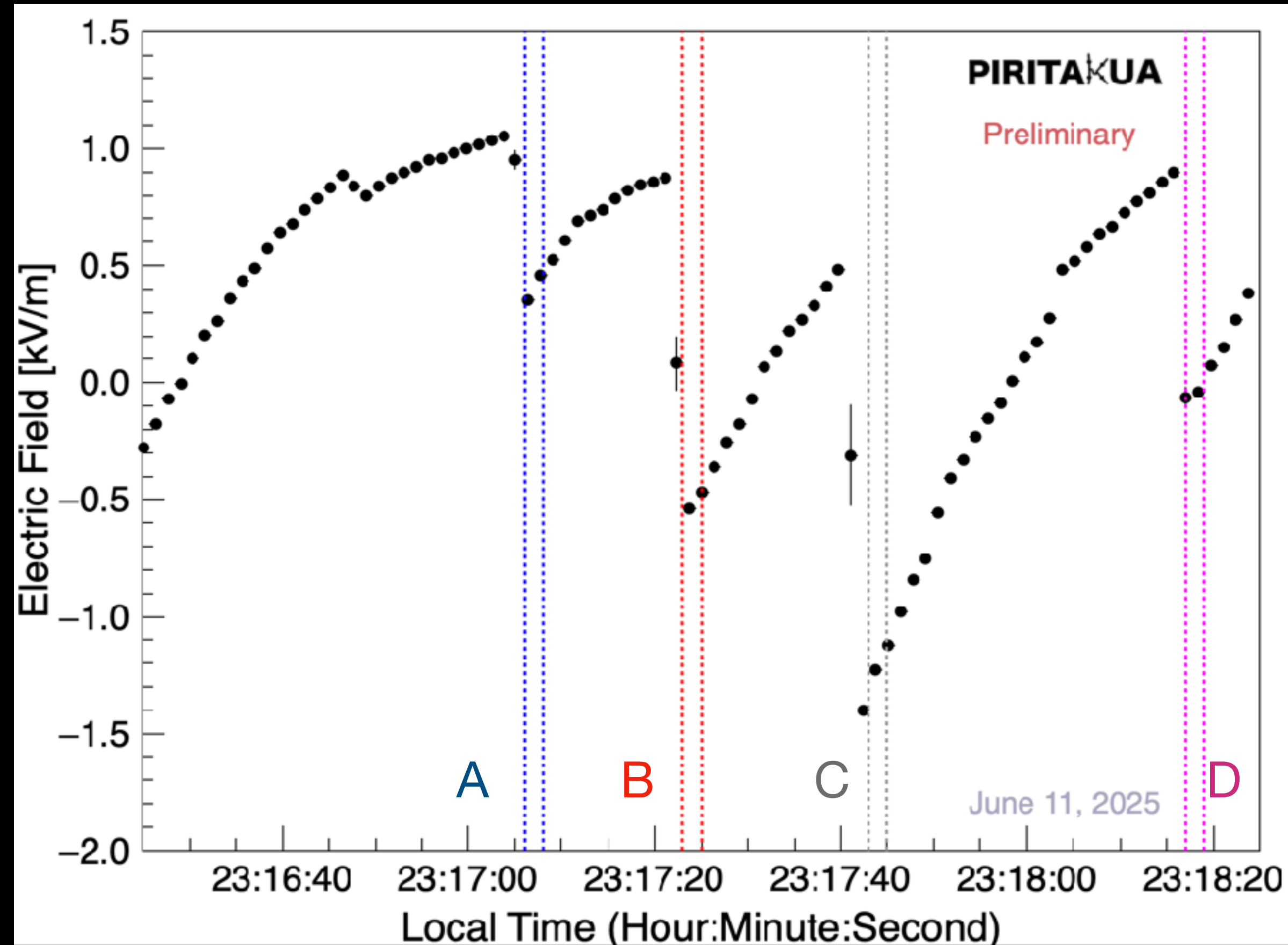
Los rayos gamma no alcanzan el nivel del mar debido a la absorción. Se cree que los brillos de rayos gamma se originan por la presencia de campos eléctricos intensos, no por los relámpagos.

- La CDMX está a 2280 m s.n.m. lo que la hace una ubicación interesante para buscar brillos de rayos gamma.

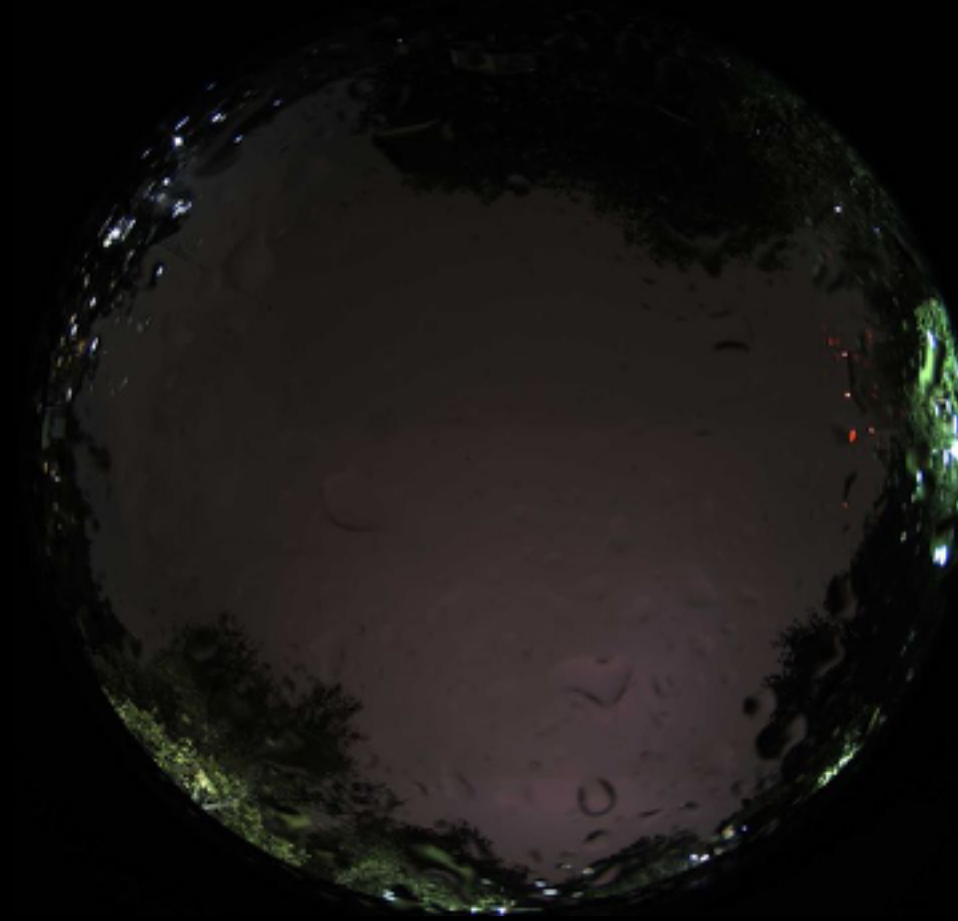


¹Phys. Rev. Research 3, 043117 (2021)

Observación de tormentas eléctricas



A) 23:17:08



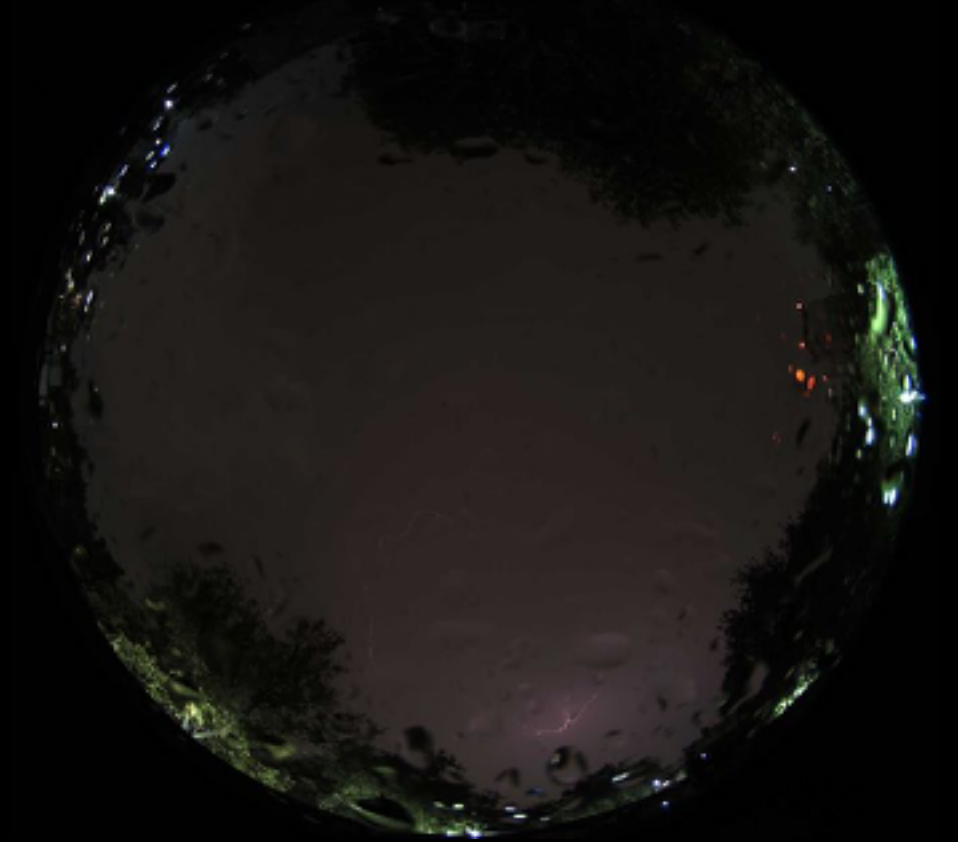
B) 23:17:25



C) 23:17:45

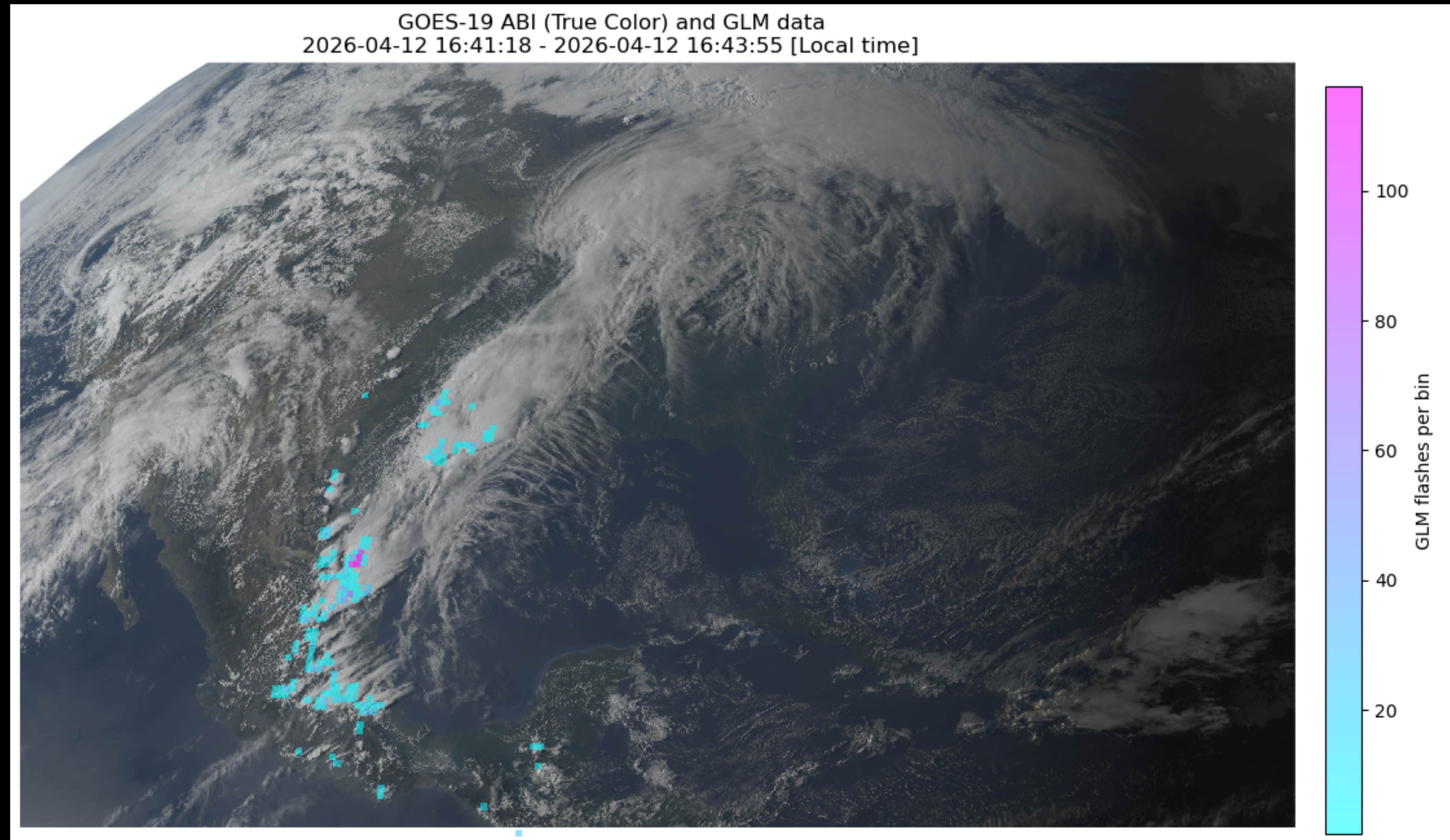


D) 23:18:19



Tormenta del 11 de junio de 2025.

Mejoras en camino: datos de satélites



Sala B 4:30 pm: **Deciphering the storm, Piritakua as lightning tracker**

En resumen

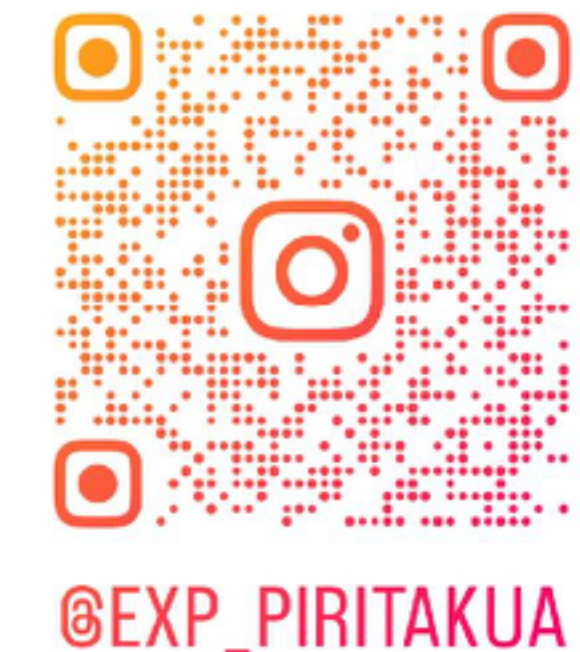
La elevación de la CDMX (2280 m s.n.m.) hace que sea un lugar interesante para estudiar el efecto de tormentas eléctricas en la propagación de cascadas atmosféricas.

En las primeras pruebas, logramos detectar dos CMEs, con 5/24 detectores.

Anticipamos concluir la construcción en los siguientes meses.



Piritakua: "Relámpago" en Purépecha.



Agradecemos el apoyo de un proyecto PIIF 2026 para adquirir un detector de silicio