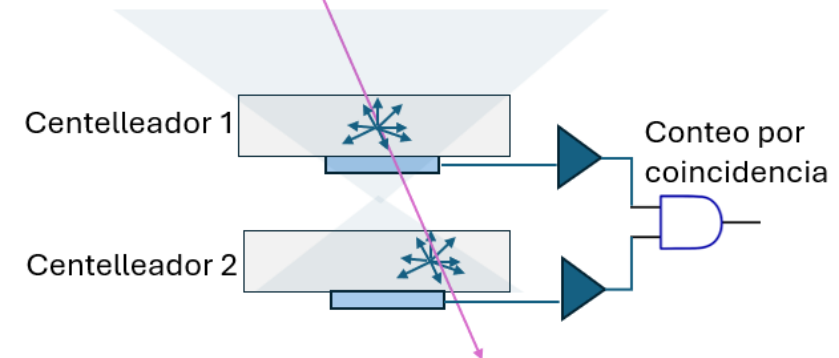
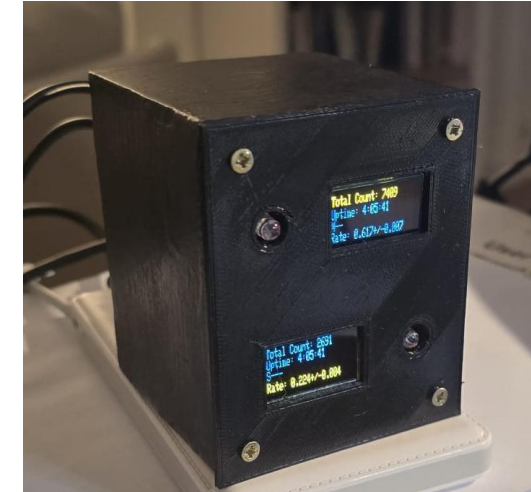


# Rayos Cósmicos

Mensajeros del Universo

# Por qué hablar de rayos cósmicos

- Todo empieza por la fabricación de este telescopio...
  - De rayos cósmicos secundarios
  - $5\text{ cm}^2$  de abertura
  - Focal muy corta (en esta implementación, después de explicará por qué)
  - El único telescopio para usar en interior



¿Qué son los rayos  
cósmicos?

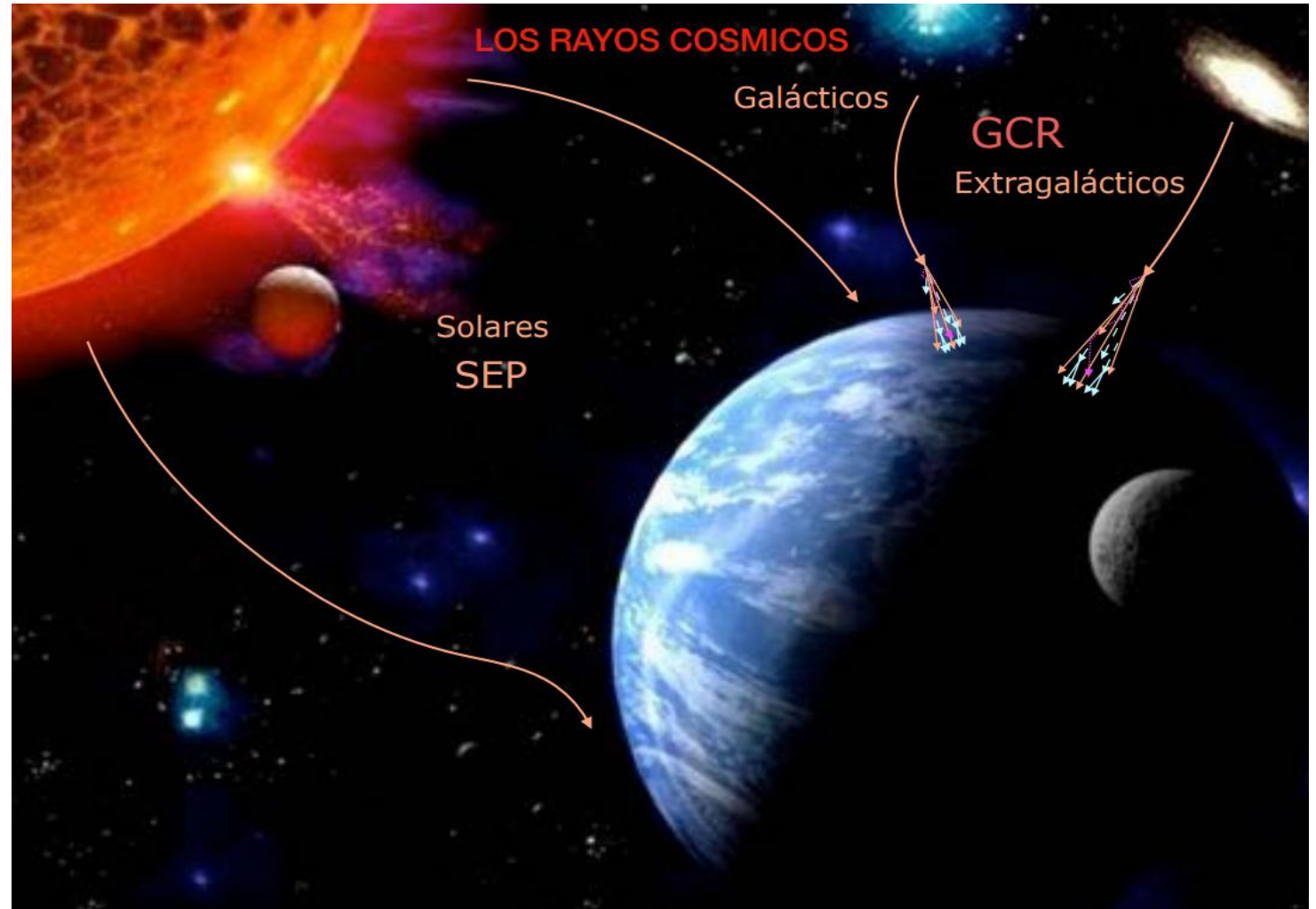




Un error en un speedrun de Super Mario 64 pudo ser causado por partículas espaciales

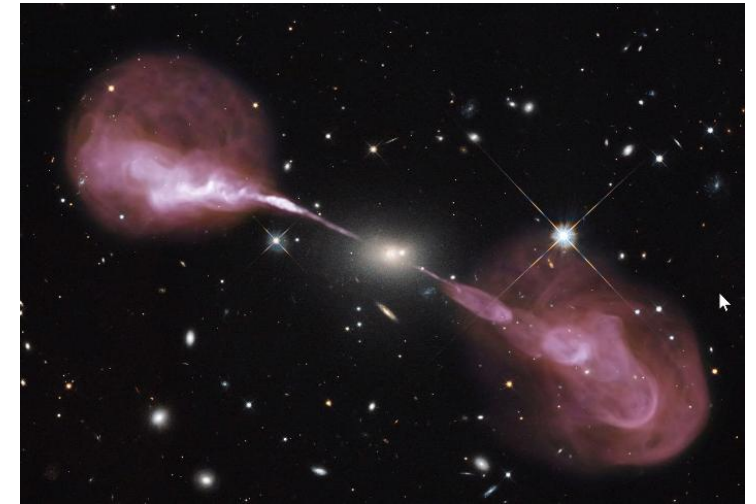
# Rayos cósmicos primarios

- Partículas cargadas:
  - 85%-90% protones
  - 8-10% partículas alfa
  - 1% electrones, positrones,...
- Procedencia:
  - **Sol:** SEP (Solar Energy Particles)
  - **Galaxia:** GCR (Galaxy Cosmic Rays)
  - **Extragalácticos**



# Por qué tienen interés

- **Mensajeros del espacio**, que complementan a los fotones en visible, rayos gamma, neutrinos, ondas gravitatorias: astronomía multi-mensajero.
- **Muy energéticas:**
  - LHC (Gran Colisionador de Hadrones) :
    - El acelerador de partículas más grande del mundo cerca de Ginebra, Suiza con 27 km de circunferencia
    - Aceleran protones a energías de TeV ( $10^{12}$  eV)
  - Rayos Cósmicos:
    - Llegan a  $10^{20}$  eV: muchos millones más energéticas
    - Como un LHC de la órbita de Mercurio



Mercurio

# Aceleradores Cósmicos

## Aceleración en Remanentes de Supernova:

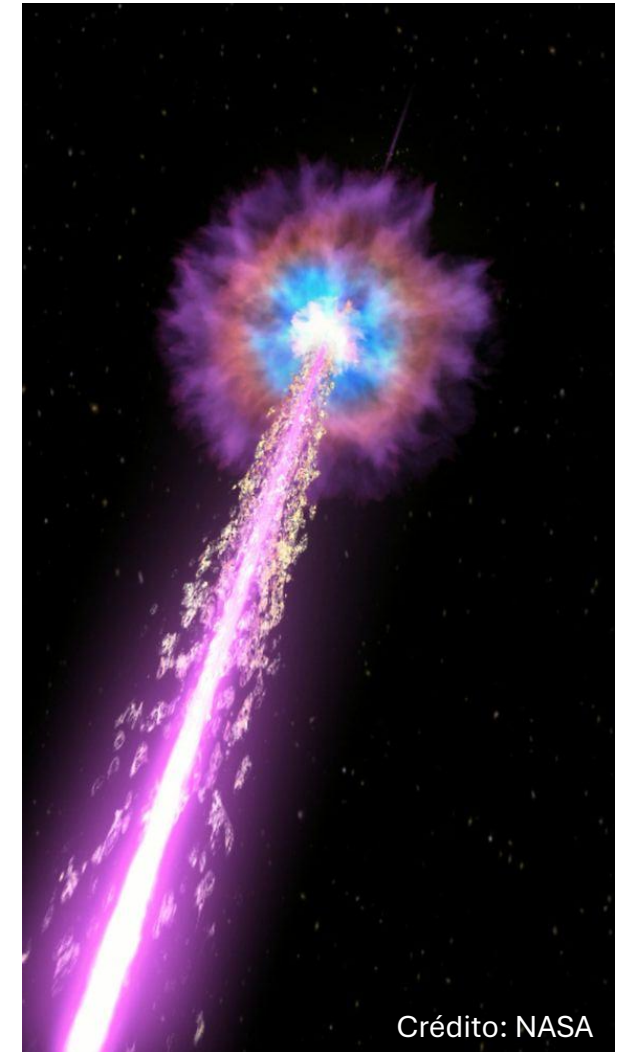
- Cuando una estrella masiva explota en supernova, genera **ondas de choque** que pueden acelerar protones y núcleos atómicos a velocidades cercanas a la de la luz.
- La **aceleración de Fermi de primer orden** ocurre cuando las partículas son reflejadas repetidamente en frentes de choque de alta velocidad, ganando energía en cada rebote.
- Los remanentes de supernova como **Casiopea A** y **Tycho** son fuentes de rayos cósmicos muy energéticos

## Aceleración en Agujeros Negros y Chorros Relativistas

- En los núcleos activos de galaxias (**AGN**) y **cuásares**, los agujeros negros supermasivos pueden lanzar chorros de partículas altamente energéticas.

## Aceleración en Choques Galácticos e Intergalácticos

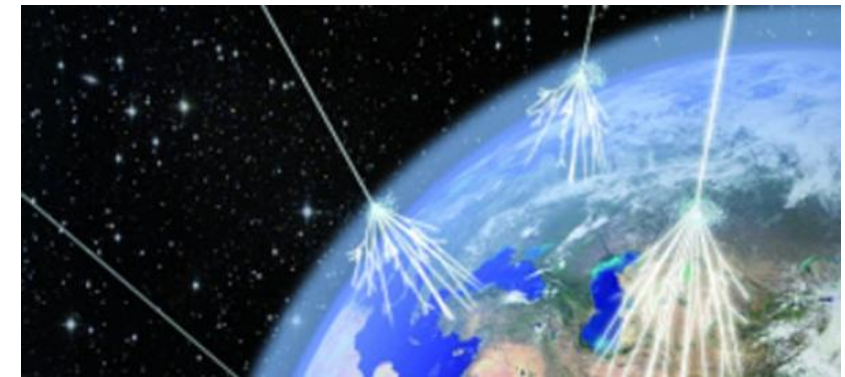
- En cúmulos de galaxias y colisiones entre galaxias, se producen choques de gran escala donde las partículas pueden ganar energía.
- Se cree que estos procesos pueden contribuir a los **rayos cósmicos ultra energéticos**



Crédito: NASA

# Mensajeros del espacio

- Mensajeros imperfectos:
  - No viajan en línea recta (los fotones y neutrinos sí): se deflactan por campos magnéticos galácticos e intergalácticos al estar cargados: perdemos la dirección
  - Se pierde energía (los más energéticos) al interactuar con el Fondo Cósmico de Microondas. Esto implica una distancia máxima de 100 Mpc
- Pero un aficionado puede detectarlos
  - No podemos detectar rayos gamma, rayos X, neutrinos, ondas gravitacionales ...
  - Pero un **Rayo Cósmico (secundario) Sí.**



# Qué ocurre cuando llegan a la Tierra

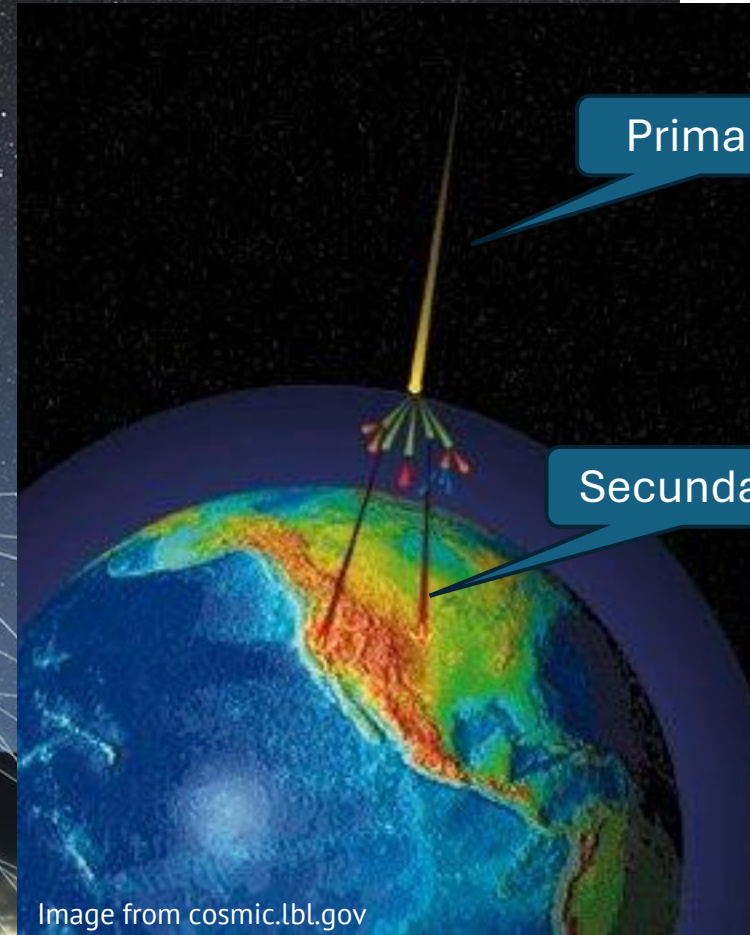
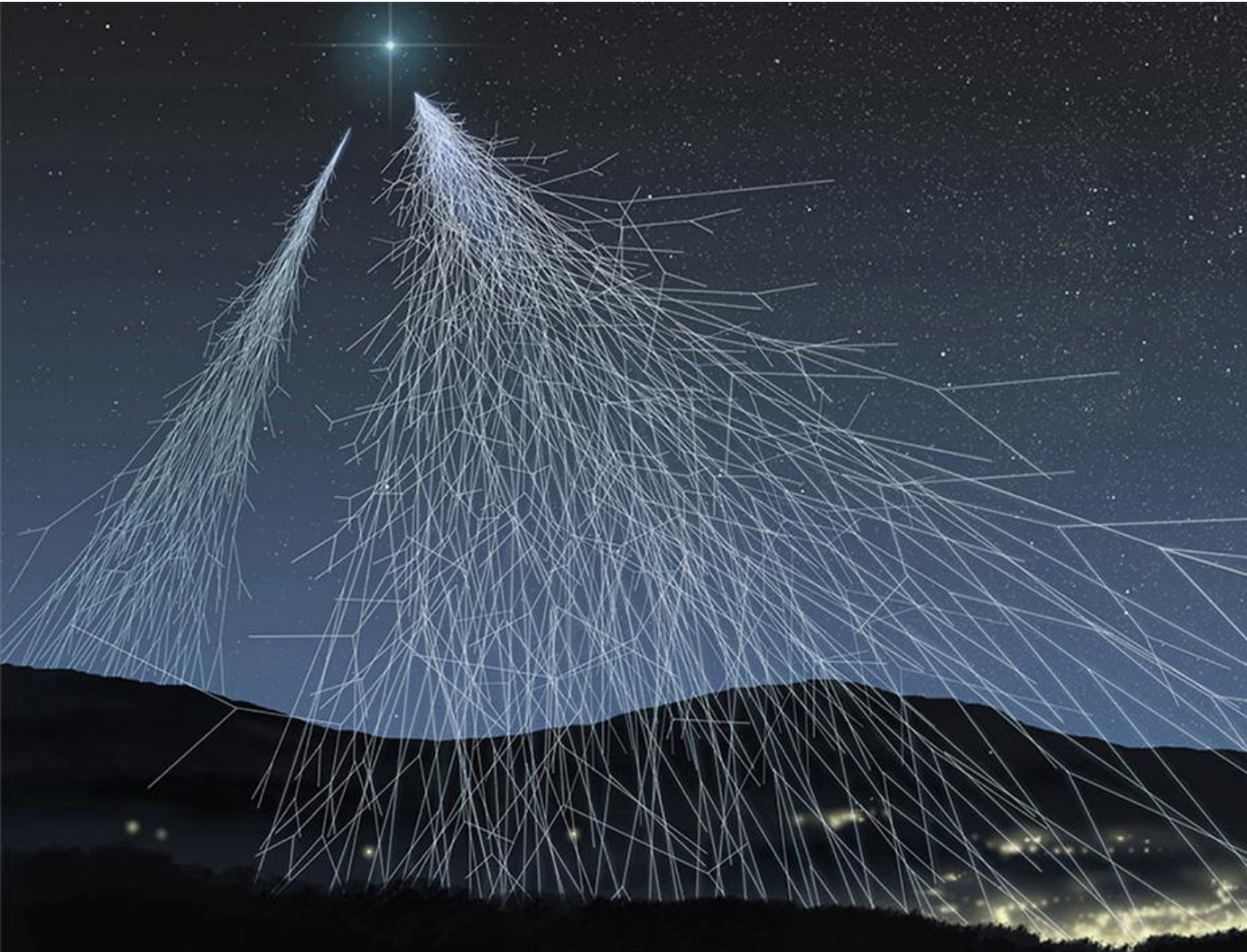
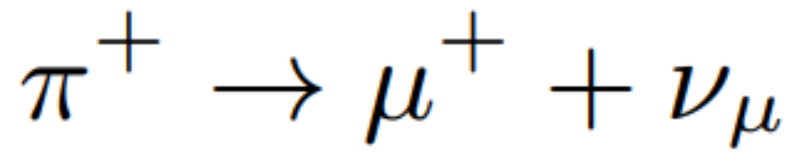
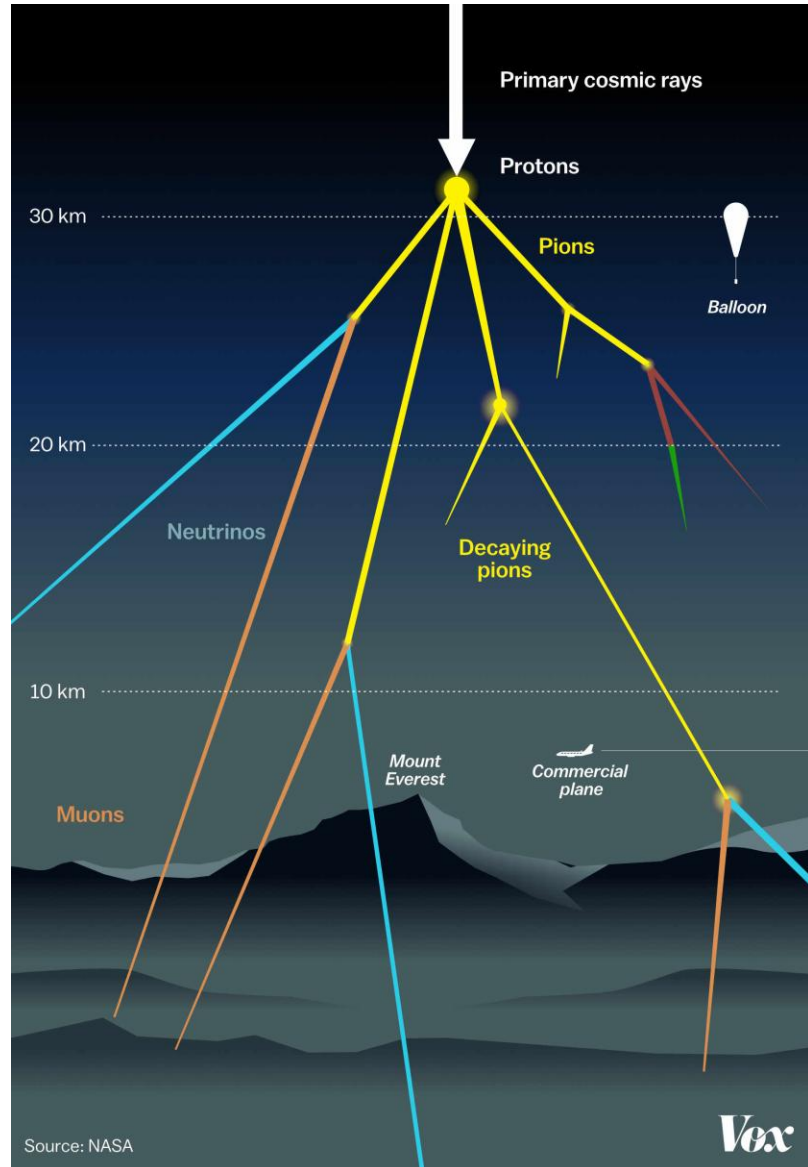


Image by ASPERA/Novapix/L. Bret

# Rayos cósmicos secundarios



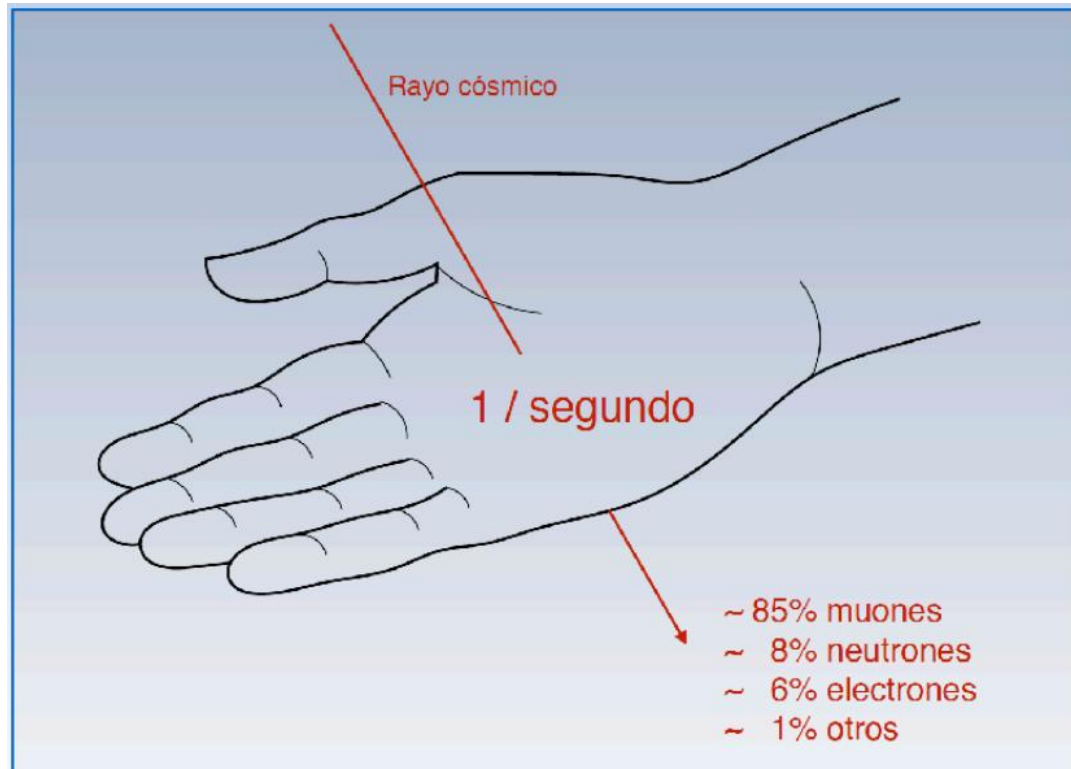
Pion

Muon (viven 2.2us)

Neutrino

# Tasa de muones

- Tasa a nivel del mar (detección cenital): 1 muon por  $cm^2$  por segundo

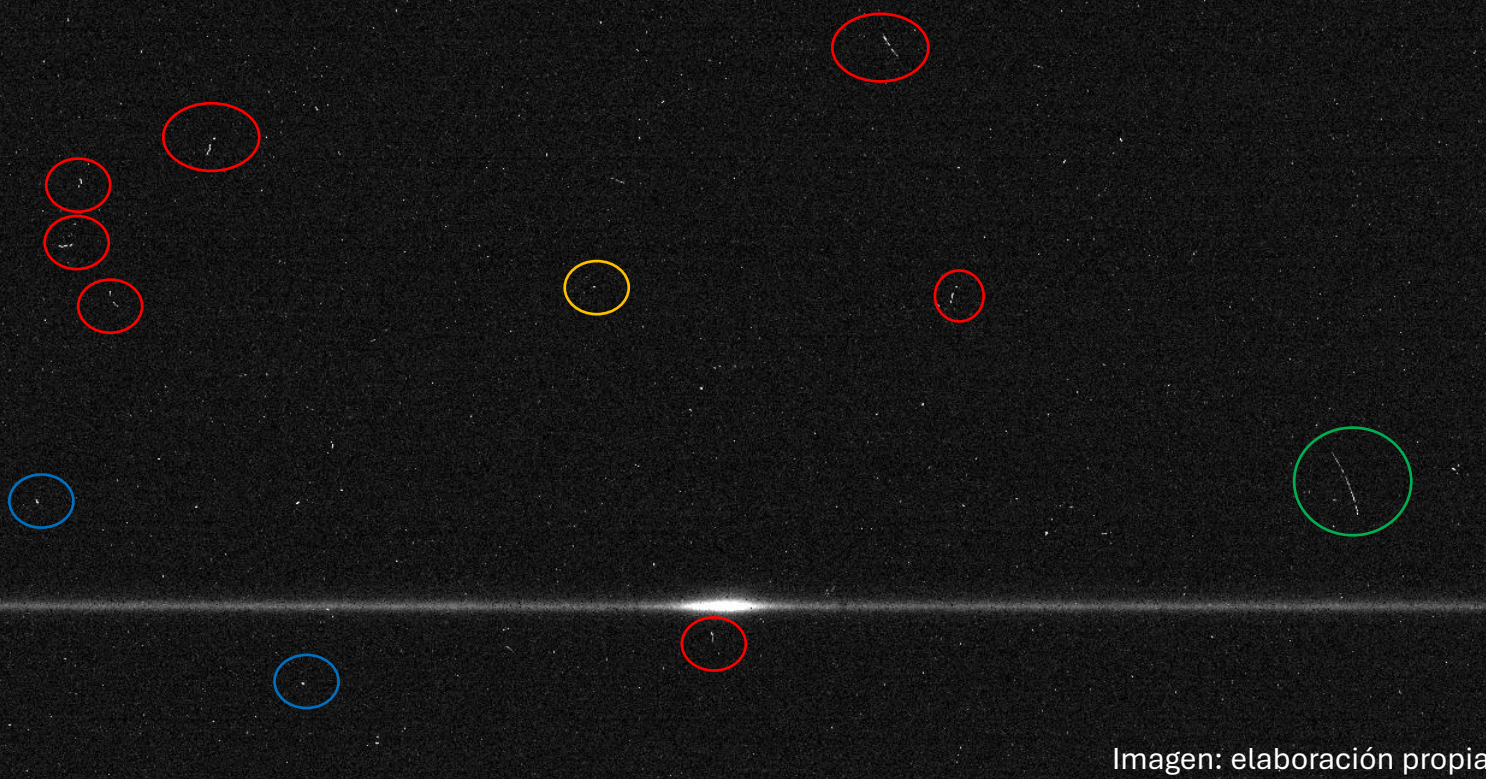


## ***Para los hipocondriacos:***

*Los muones cósmicos atraviesan el cuerpo con poca interacción porque su alta velocidad reduce su capacidad de ionizar el medio en comparación con partículas más lentas.*

# En nuestros sensores CCD / CMOS

Parte de una imagen del espectro de T-CrB con 5 horas de exposición, sensor ASI533.

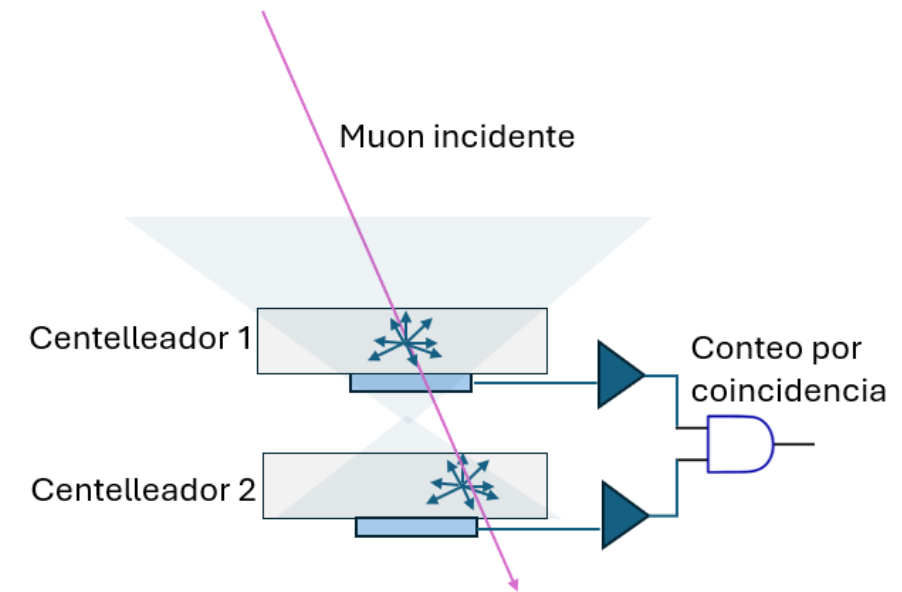
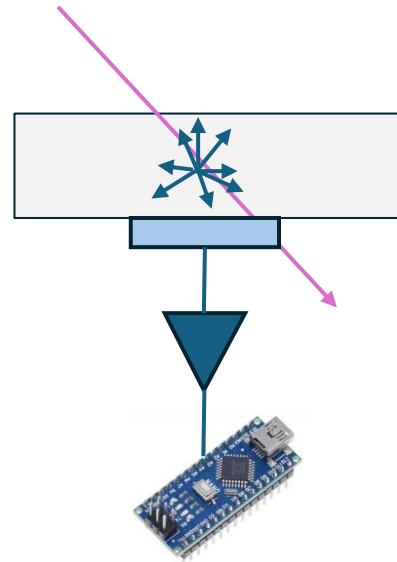


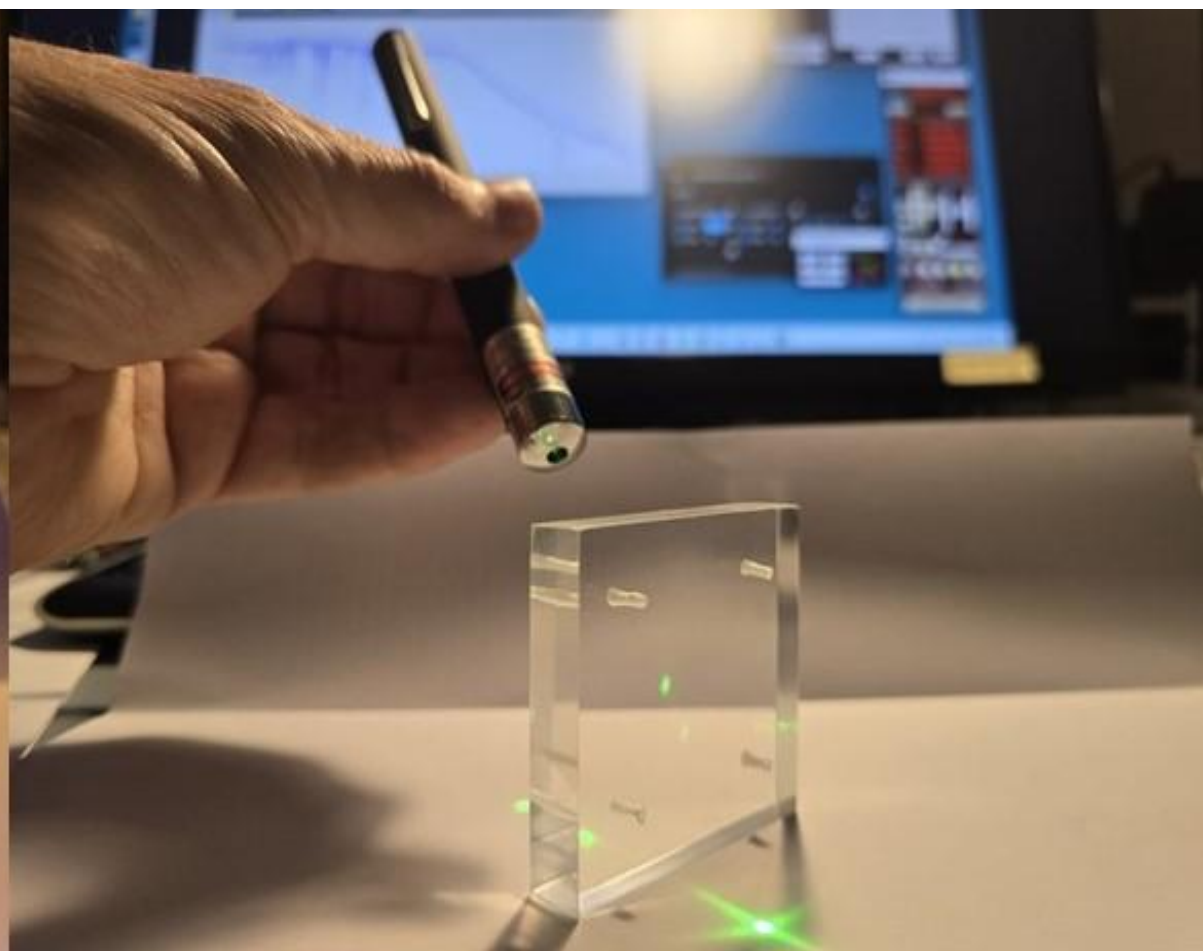
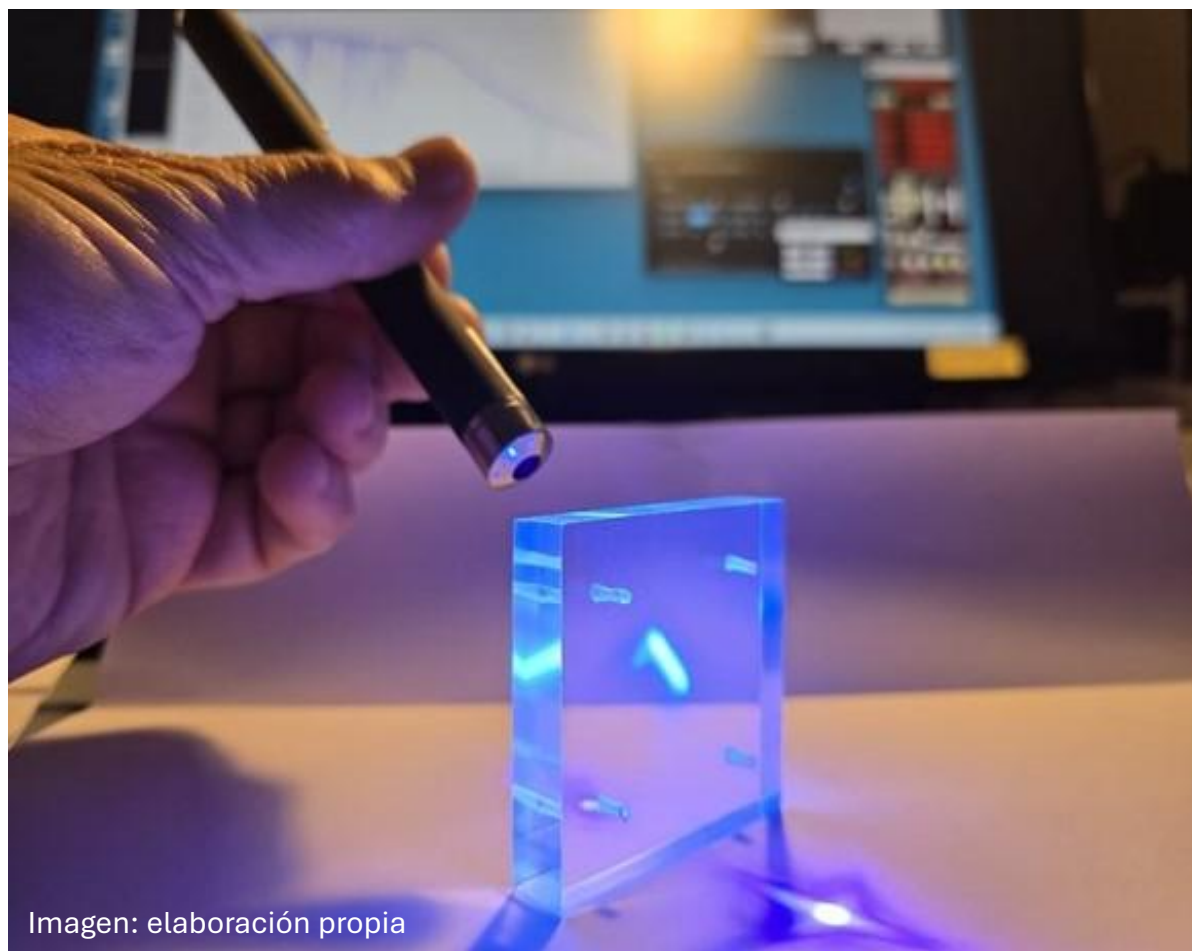
| Fenómeno                              | Forma                         | Origen                                                   |
|---------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Muones cósmicos                       | Líneas rectas                 | Penetran profundamente con baja interacción.             |
| Dispersión Compton                    | Trayectorias curvas o difusas | Rayos gamma dispersados producen electrones secundarios. |
| Electrones Beta                       | Puntos aislados               | Emitidos por potasio-40 en lentes y vidrios.             |
| Fotoeléctrico / Gamma de baja energía | Puntos brillantes             | Absorción localizada de un fotón gamma.                  |

- **La longitud** de las trazas depende del grosor del sensor ( $10\mu$  a  $300\mu$ ) y de la energía del muon.
- El **número de trazas** depende del tamaño del sensor y de la exposición, pero también de la altitud del observatorio (más a mayor altitud) y de la altitud del objeto (cenitalmente mayor tasa), del azimut (hay asimetría este – oeste).
- No hay ninguna forma de evitarlos: problema irreductible = una preocupación menos.

# El telescopio de muones

- La luz emitida por la energía depositada por el muon en el centelleador se detecta con un fotomultiplicador de silicio (SiPM).
- La señal generada se amplifica y acondiciona para que sea registrada por un microprocesador
- Los datos se muestran en una pantalla en tiempo real y se pueden grabar en un PC o en una micro SD





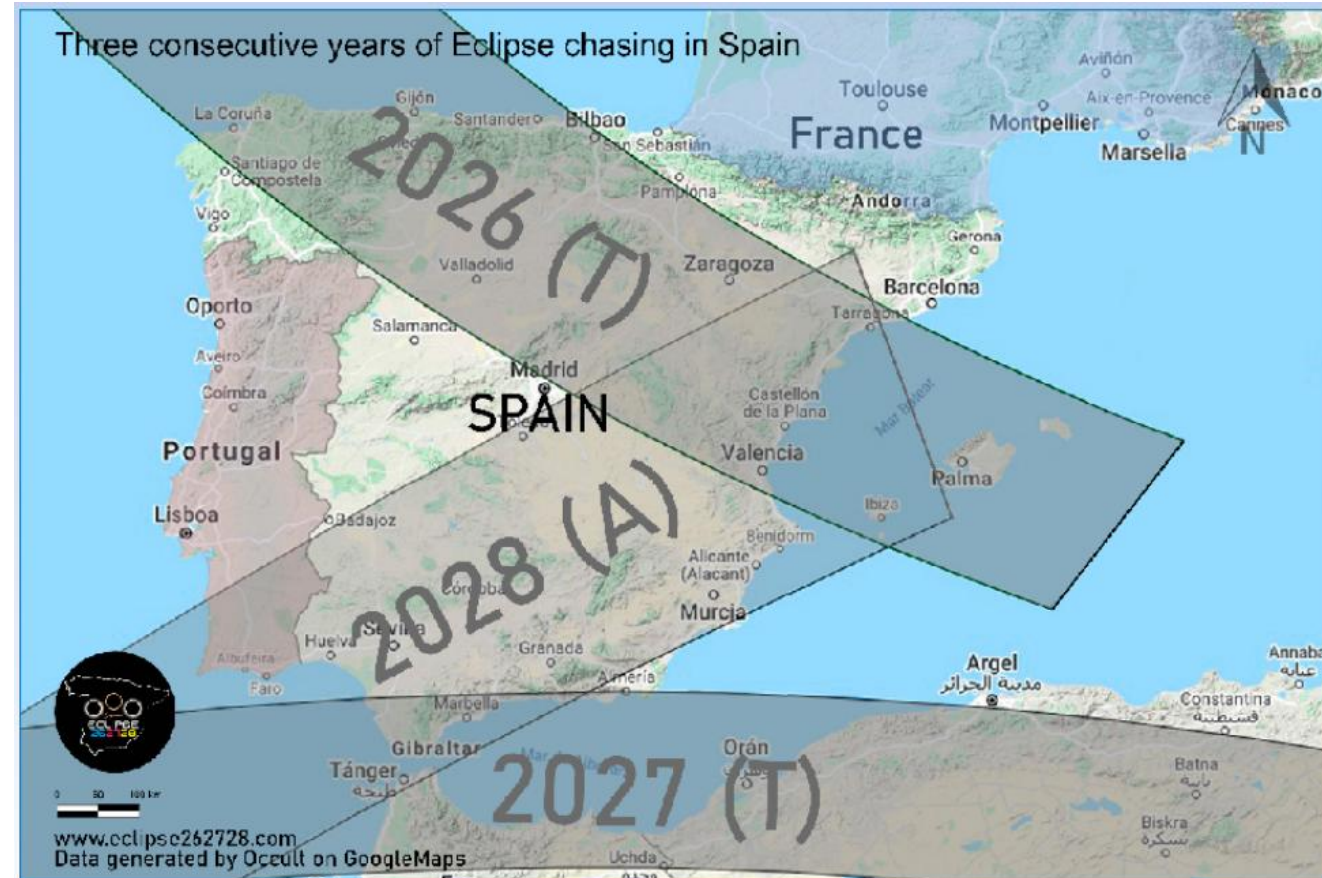
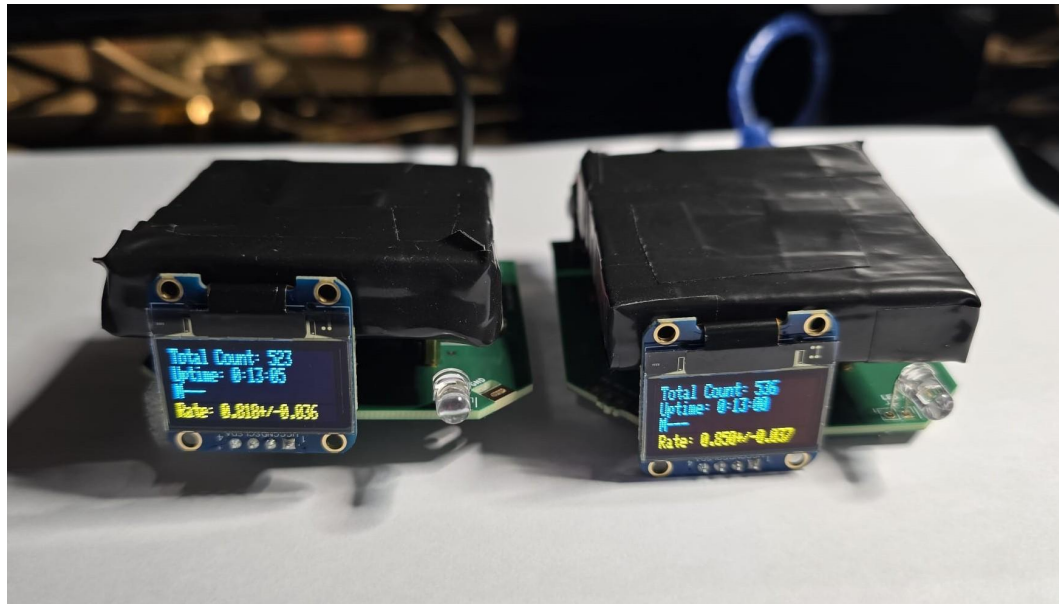
# Realización práctica (CosmicWatch del MIT)



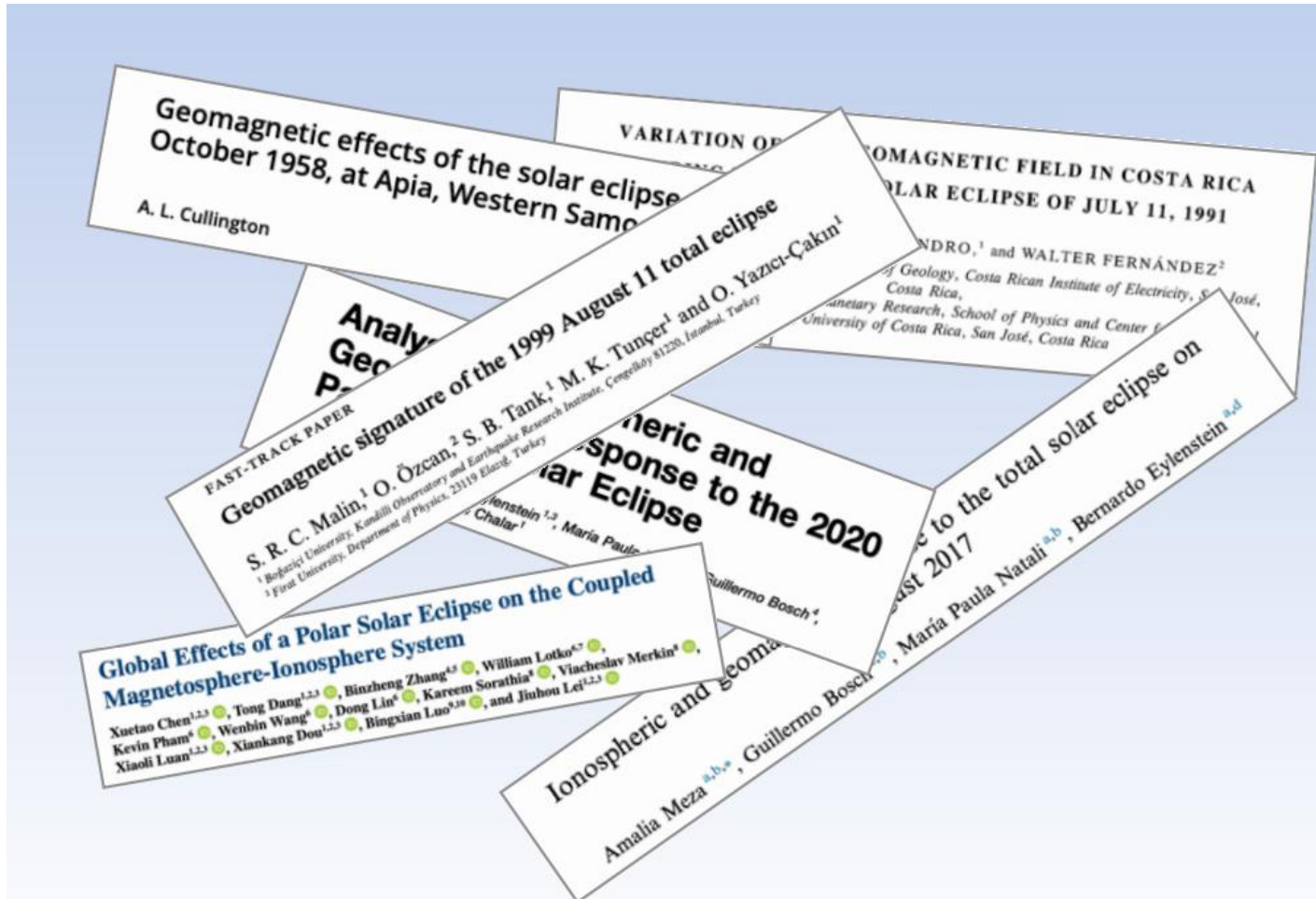
Imagen: elaboración propia

# ¿Para qué podemos usar estos detectores?

**Reto: estudiar influencia de los eclipses de Sol en los rayos cósmicos secundarios**



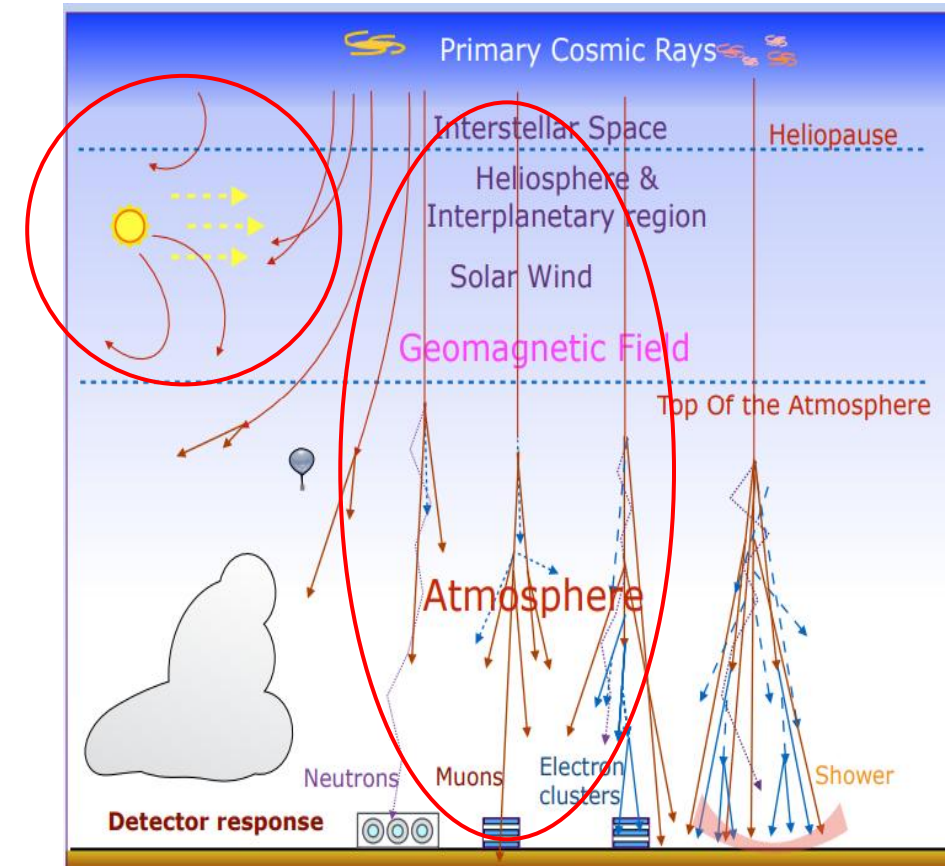
No es la primera vez, pero sí en la que participemos astrónomos amateurs



Crédito: Juan A. Garzón. Eclipses y Rayos Cósmicos

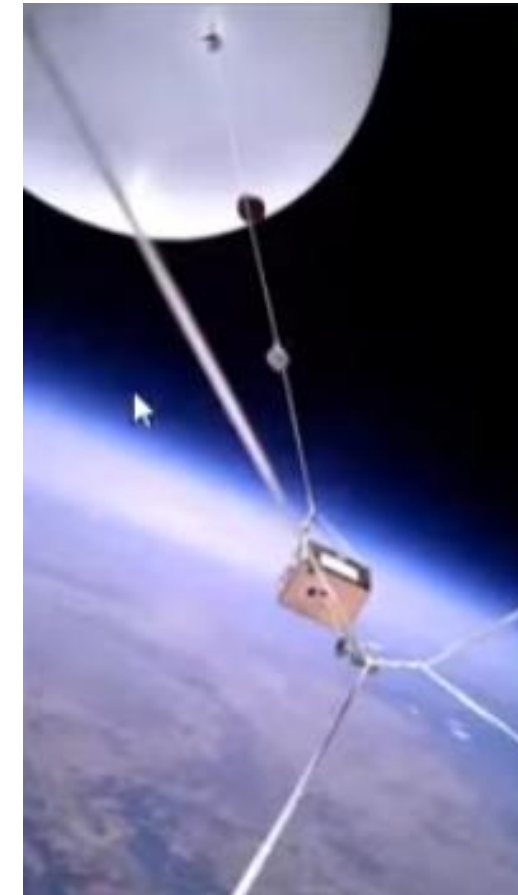
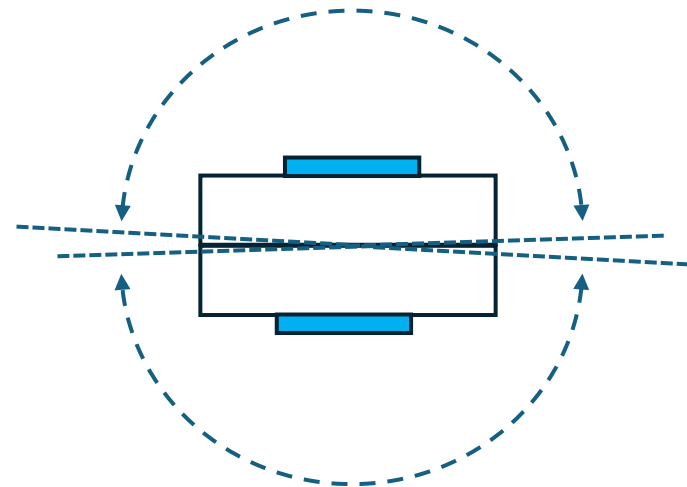
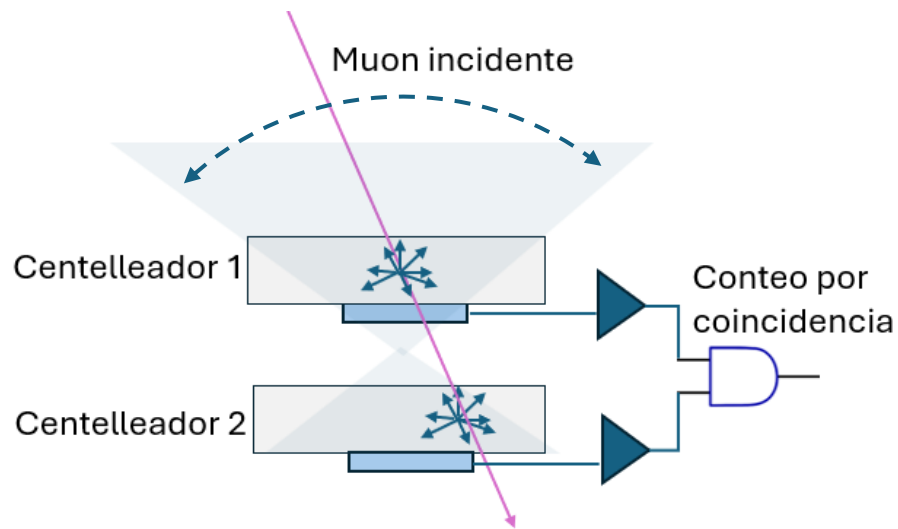
# ¿Un eclipse afecta a la recepción de rayos cósmicos secundarios?

- Un 10% de los rayos cósmicos primarios proceden del Sol, pero no generan rayos cósmicos secundarios al no tener suficiente energía. **Luego el bloqueo del Sol por la Luna no disminuye rayos cósmicos secundarios procedentes del Sol.**
- La luna sí bloquea rayos X procedentes del Sol afectando a la ionosfera, y en consecuencia a la actividad geomagnética. **Esto sí podría afectar a la recepción de rayos cósmicos secundarios procedentes de la galaxia y extra galácticos.**



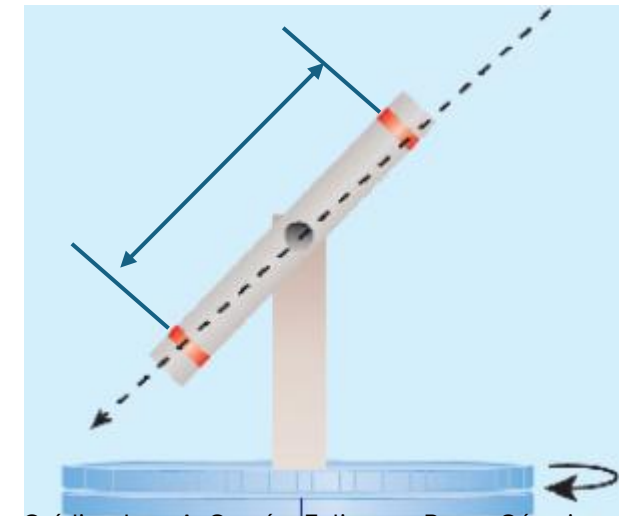
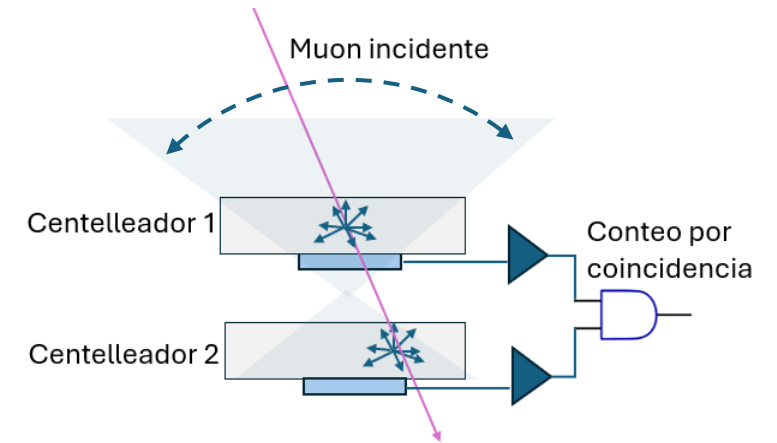
# Detector de muones en un HAB

- Estudio de la **influencia de los eclipses de Sol** mediante el lanzamiento de **detectores de rayos cósmicos en HAB** (High Altitude Balloon).
- **Coordinado por la AAM**
  - Obtención de imágenes a 30 Km
  - Medición de parámetros (temperatura, humedad, presión, altitud, ...)
- **Detección rayos cósmicos**
  - Configuración en modo coincidencia
  - Orientación cenital
  - Completamente juntos para maximizar el ángulo (detección omnidireccional)



# Detectores de muones en la trayectoria del eclipse

- Estudio de **la influencia de los eclipses de Sol** en el campo magnético terrestre mediante una red de **detectores de rayos cósmicos en superficie**.
- Propuesta de Juan Antonio Garzón, F. Física. Univ. Santiago de Compostela.
- Telescopios de rayos cósmicos en tierra:
  - “Focal” se ajusta con la distancia entre los detectores.
  - La orientación es un parámetro a tener en cuenta en este proyecto



Crédito: Juan A. Garzón. Eclipses y Rayos Cósmicos

# Nueva versión de detector

| V2                 | Technical Spec.       | V2.1                  |
|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| ATmega328P         | Processor             | <b>Arm Cortex-M0+</b> |
| Single core        | Number of Cores       | <b>Dual core</b>      |
| 16 MHz clock       | Clock Frequency       | <b>133 MHz clock</b>  |
| 32KB               | CPU memory            | <b>2MB</b>            |
| 2KB                | RAM                   | <b>264KB</b>          |
| <b>0.27W</b>       | Power consumption     | 0.5W                  |
| <8-bit             | ADC resolution        | <b>12-bit</b>         |
| 50 Hz              | Max event rate        | <b>5,000 Hz</b>       |
| 0.5 mV             | Noise level [RMS]     | <b>0.1 mV</b>         |
| No                 | Wifi/Bluetooth        | <b>Yes</b>            |
| No                 | GPS/Realtime clock    | <b>Yes</b>            |
| Yes/No             | OLED + SD             | <b>Yes</b>            |
| Yes                | Temp. and Press.      | Yes                   |
| No                 | Gamma-ray Spec.       | <b>Yes</b>            |
| 25 cm <sup>2</sup> | Effective area        | 25cm <sup>2</sup>     |
| 50ms               | Deadtime per event    | <b>1 ms</b>           |
| 67 g               | Weight                | 67 g                  |
| No                 | Citizen Science       | <b>Yes</b>            |
| 36 mm <sup>2</sup> | Photocathode area     | 36mm <sup>2</sup>     |
| 12 mV              | Min trigger threshold | <b>&lt;1mV</b>        |
| 450 µHz            | Accidental coincident | <b>6 µHz</b>          |
| 200 USD            | Cost                  | 200USD                |

- Para ambos proyectos se usará una **nueva versión con extraordinarias nuevas prestaciones**
- Interesados en **fabricar un detector** (y quizás participar en los proyectos) contactar conmigo.

Los **rayos cósmicos** (*además de molestas trazas en nuestras imágenes*) son un **mensajero de fenómenos violentos galácticos y extra galácticos**, y el **telescopio de muones** método de observación poco conocido por los aficionados con interesantes posibilidades.



[javierdeelias@gmail.com](mailto:javierdeelias@gmail.com)