

# UN DETECTOR DE PARTÍCULAS PARA EL AULA USANDO TUBOS GEIGER EN COINCIDENCIA

Introducir la dimensión experimental en la enseñanza y la divulgación de la física de partículas, astropartículas y nuclear es tan necesario como difícil. Aunque existen instrumentos asequibles de demostración como la cámara de niebla y se han descrito otros mucho más complejos que permiten hacer pequeñas investigaciones, el montaje que proponemos -basado en tubos Geiger de segunda mano montados en coincidencia- es a la vez barato, posible de montar en los talleres y laboratorios escolares por profesores sin conocimientos especializados y con amplias posibilidades didácticas y de demostración. La capacidad de registrar datos, contando las partículas detectadas -mayoritariamente procedentes de los rayos cósmicos secundarios- junto con marca temporal y medidas de presión y la temperatura pone al alcance de los alumnos de enseñanza secundaria una amplia variedad de actividades que no son sólo relevantes para el currículo de física (y también para los de matemáticas y tecnología), sino, más en general, para introducir la naturaleza del trabajo y el conocimiento científicos.

## 1. EL DETECTOR: PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Los contadores de Geiger – Müller (a menudo simplemente GM o incluso *Geiger*) son detectores de ionización en gases cuyo ingrediente fundamental es un contenedor, en nuestro caso un cilindro (el tubo Geiger), de paredes conductoras lleno de una mezcla gaseosa, por ejemplo argón. A lo largo del eje del tubo se suspende un hilo conductor sometido a un voltaje positivo respecto a las paredes. El paso de una partícula de suficiente energía por el tubo da lugar a una serie de pares electrón – ión en el gas que el campo eléctrico acelerará hacia el ánodo y el cátodo, donde serán recogidos para dar lugar a una señal eléctrica; un pulso que es procesado y registrado electrónicamente. El alto valor de la tensión de polarización hace que cualquier partícula ionizante produzca la máxima respuesta en el detector independientemente de su energía, por lo que un tubo detector individual se utiliza como contador de dichas partículas, no para determinar energías,

Si bien basta un sólo contador Geiger para realizar una parte significativa de los experimentos que se mencionarán en el apartado 3, nosotros empleamos dos tubos y registramos -además de las señales individuales- las coincidencias temporales de sus respuestas (definiendo un valor mínimo de solapamiento de los pulsos). Esta técnica de coincidencia permite detectar el paso de la partícula por una dirección del espacio (o

más precisamente por un cono definido por la distancia y geometría de los tubos) y también reduce notablemente los eventos accidentales debidos al ruido de la electrónica, así como los debidos a la radiactividad ambiental terrestre (básicamente  $\beta$  y  $\gamma$  con los tubos que nosotros empleamos). Esto implica que las coincidencias proporcionan eventos candidatos a rayos cósmicos secundarios.

## 2. EL DETECTOR: MATERIAL NECESARIO, MONTAJE Y COSTE

El funcionamiento del detector puede resumirse en el siguiente diagrama de flujo para las señales:

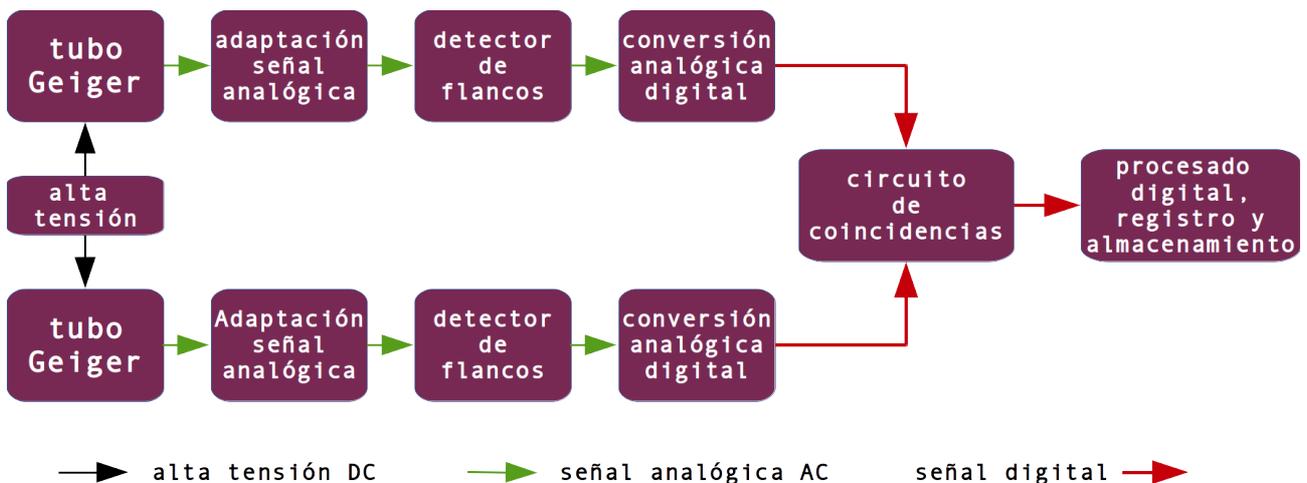


Fig. 1: Los dos tubos Geiger (derecha) conectados a la electrónica del detector

Los pulsos analógicos producidos por los tubos Geiger son transformados en señales digitales que se unen en un circuito lógico AND para definir las coincidencias que son registradas en un contador.

Descartada la idea de los aparatos comerciales por su alto coste, acudimos a una idea básica para el módulo muy conocida en el mundo de los contadores Geiger de *hardware* y código abierto [1, 2] La idea original del circuito que proporciona el alto voltaje es de John Giametti [2] y ha sido adaptada para poder tener dos tubos en coincidencia.

La electrónica del detector está distribuida en cuatro placas alimentadas por una cargador USB de de 5V (como los empleados para los *smartphones*) que, ordenadas a partir de la conexión a los tubos Geiger son:

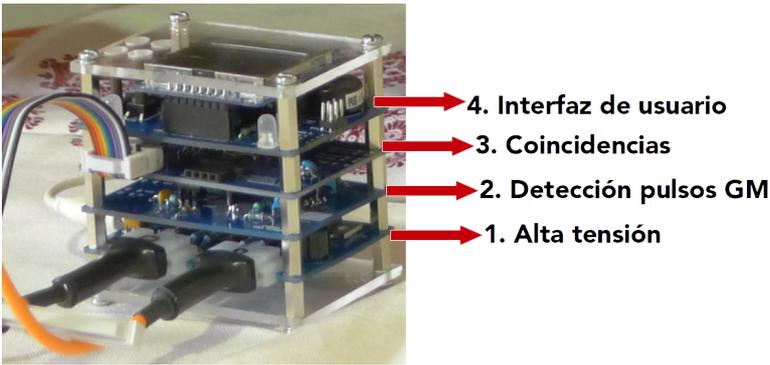


Fig. 2: Las cuatro placas que componen la electrónica del contador Geiger montado para su uso

1. Alto voltaje: proporciona el potencial que necesitan los tubos para funcionar y también recoge las señales eléctricas analógicas que se originan en estos.
2. Detección: toma las señales analógicas de cada tubo, las digitaliza y las prepara para la siguiente fase.

3. Coincidencias: toma las señales digitales de cada tubo y las hace confluir en una puerta lógica AND que es la que define las coincidencias.

4. Interfaz del usuario: muestra las cuentas de cada tubo por separado y las coincidencias en un contador (pantalla LCD) y las señala mediante el encendido de LED rojos (individuales) o verdes (coincidencias), también produce un sonido en cada uno de esos casos.

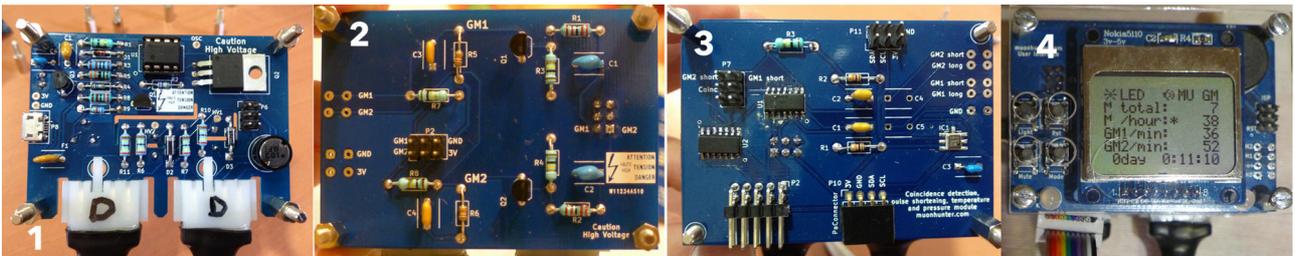


Fig. 3: Las cuatro placas del contador Geiger desmontadas

Recogida de datos:

En principio, el sistema descrito ya es un contador y podría emplearse así, pero su valor se multiplica añadiendo la posibilidad de registrar las cuentas junto con una marca temporal y datos de presión y temperatura (obtenidos a partir de sensores incorporados en la placa 3. Para conseguirlo, se llevan las señales digitales a una computadora Raspberry Pi mediante un conector. Un programa escrito en Python facilita la adquisición y almacenamiento de los datos (<https://github.com/mvadai/muonhunter>). A continuación sigue una muestra de los datos obtenidos:

	RUN.ID	Channel	Log.time	Pressure..Pa.	Temperature..C	Total.hits
57822	36	Muon	2016-05-06 13:11:24	99858	24.7	2390
57823	36	GM1	2016-05-06 13:11:25	99861	24.7	31895
57824	36	GM2	2016-05-06 13:11:25	99861	24.7	30338
57825	36	Muon	2016-05-06 13:11:25	99861	24.7	2390
57826	36	GM1	2016-05-06 13:11:26	99867	24.7	31896
57827	36	GM2	2016-05-06 13:11:26	99867	24.7	30339
57828	36	Muon	2016-05-06 13:11:26	99867	24.7	2391

Fig. 4: Muestra de un registro con las cuentas (Total.hits) de cada canal (GM1 y GM2) y las coincidencias (Muon) con sus marcas temporales (Log.time) junto con las lecturas de presión y temperatura.

## Estimación del coste

Hemos procurado que todos los elementos necesarios para fabricar este detector sean baratos y de fácil adquisición, desde los componentes electrónicos y sus accesorios (cables, alimentación) hasta los tubos *Geiger*, para los que la mejor opción son los tubos rusos SBM – 20, generalmente provenientes de excedentes del antiguo ejército soviético y que se encuentran sin problemas en *eBay*.

Aunque la electrónica se podría montar en una placa PCB de prototipado (y así se hizo inicialmente), dado que se iban a producir al menos dos decenas de detectores para el proyecto que se menciona en la sección 3, uno de los autores (MV) desarrolló un kit con circuitos impresos en placas específicas, que son las que se muestran en la fig. 3.

Utilizando este kit (descrito en <http://www.muonhunter.com/>) , el desglose de costes es:

Tubos <i>Geiger</i> ....	35 €
Electrónica y accesorios....	95 €
<i>Raspberry Pi</i> y accesorios....	65 €
<b>TOTAL....</b>	<b>195 €</b>

donde no se han incluido el monitor y el teclado de la *Raspberry Pi* dado que consideramos que no es necesario disponer de ellos de forma permanente y siempre pueden utilizarse algunos que ya tengan otros usos (o se hayan descartado). En sentido contrario, tampoco se ha tenido en cuenta que en muchos centros escolares ya se dispone de una o más *Raspberry Pi*.

### 3. UTILIZACIÓN DEL DETECTOR EN EL AULA O PARA DIVULGACIÓN

Cuando en la literatura [ver, por ejemplo 3 y 4] se han descrito aparatos similares al nuestro, al tratar de su uso en educación se habla de los aspectos ligados a la física como el estudio de la radiactividad y los rayos cósmicos. Aunque nosotros no negamos en absoluto la importancia de estos aspectos, hemos querido ir más allá y utilizarlos *también* para tratar en el aula (y ante el público general) contenidos sobre el trabajo científico y la naturaleza de la evidencia científica, de extraordinario interés para la ciudadanía y que reciben menos atención de la que debieran.

Este aparato permite medir el número de cuentas por los canales individuales asociados a cada uno de los tubos así como el de las coincidencias (eventos candidatos a rayos cósmicos). Con este dato proponemos inicialmente a los alumnos (desde 3º de ESO hasta 2º de bachillerato, así como con el público general. ) los siguientes tipos de estudio:

- a) Evolución temporal de las cuentas y su relación con factores externos como la presión atmosférica, la temperatura y la alternancia noche-día.

- b) Distribución temporal de los eventos candidatos a rayos cósmicos (estadística de intervalos entre sucesos consecutivos)
- c) Dependencia de la estadística de las coincidencias respecto a la altura sobre el nivel del mar.
- d) Dependencia de la estadística de las coincidencias respecto a la geometría relativa de los tubos (separación, etc.).
- e) Distribución angular de los rayos cósmicos (a través de la dependencia de la estadística de las coincidencias con el ángulo respecto a la vertical).

(El estudio de la dependencia de la estadística de las cuentas con la distancia a una fuente radiactiva fácil de obtener, como las de los antiguos detectores de humos, no es fácil de hacer con estos tubos que no son sensibles a la radiación  $\alpha$ )

A continuación detallamos algunas de nuestras propuestas de utilización:

DEMOSTRACIÓN: "Partículas de verdad" (Público general y desde 3º de ESO)

Corremos el riesgo de que las partículas de las que hablamos sean vistas como entelequias y no como lo que son: objetos físicos que dejan señales físicas medibles en nuestros instrumentos. El uso de este detector junto con un osciloscopio para ver las señales y una cámara de niebla (uno de nuestros proyectos es usar el detector como trigger para fotografías las trazas) es un paso importante en este sentido.

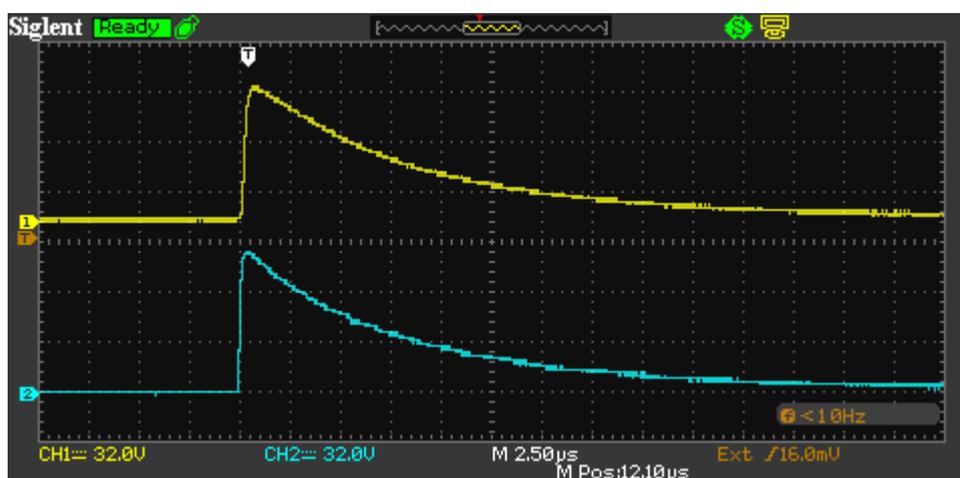


Fig. 5: Coincidencia observada en un osciloscopio

MONTAJE DEL DETECTOR – TRABAJO CIENTÍFICO EXPERIMENTAL (Desde 4º de ESO)

Los alumnos han montado algunos de los detectores de la red que uno de los autores (FBS) está organizando en la Comunidad de Madrid. Al hacerlo se enfrentan con algunos de los problemas típicos del trabajo científico que suelen estar ausentes del ambiente escolar, como la necesidad de calibrar los aparatos, etc.

## NATURALEZA DE LA EVIDENCIA CIENTÍFICA (Desde 4º de ESO)

Hemos propuesto a los alumnos de la red antes mencionada el siguiente problema. Vamos a hacer medidas de la distribución de las coincidencias en dos localidades (Madrid y Alicante) de alturas sobre el nivel del mar significativamente distintas y en otras con diferencias menores.

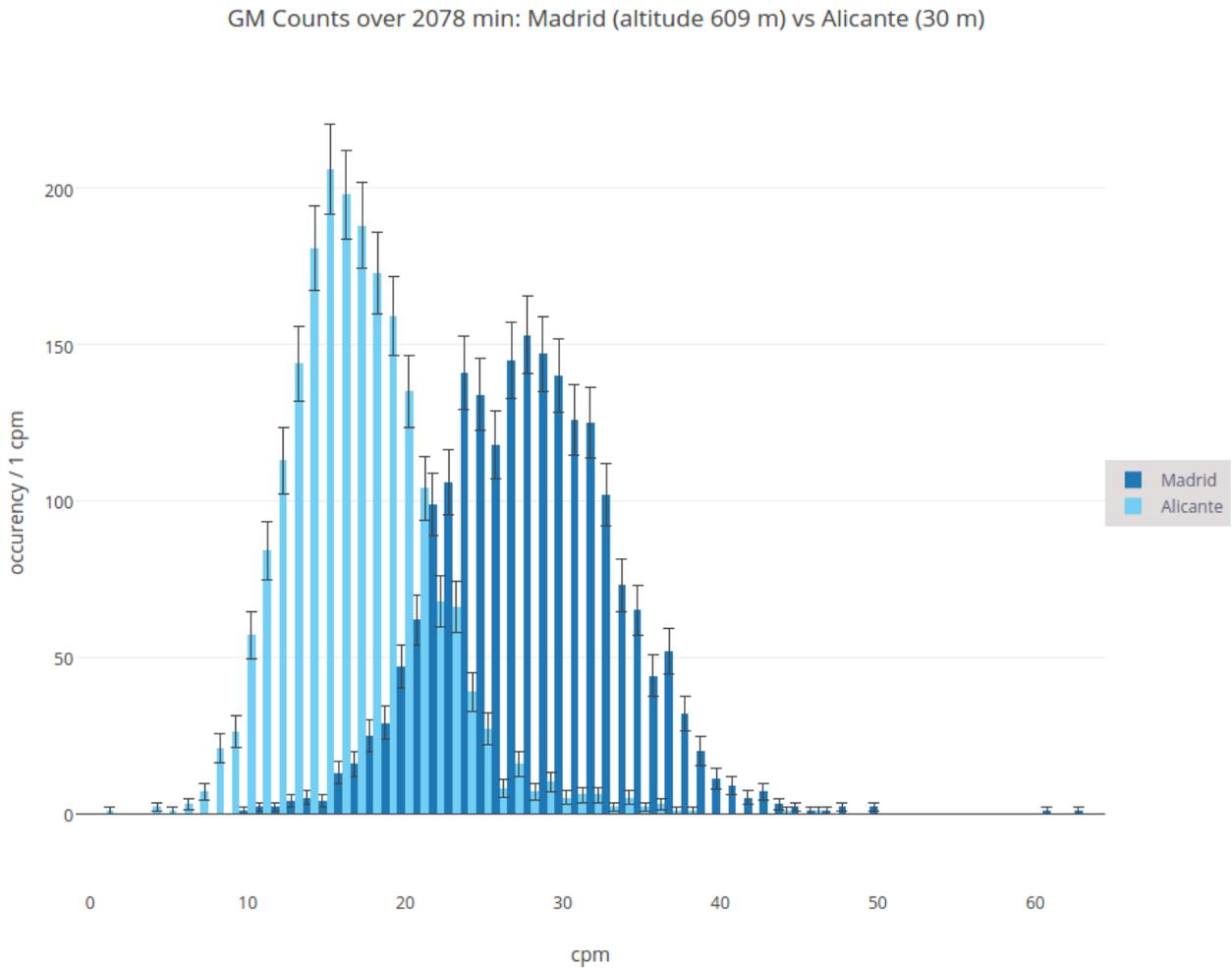


Fig. 6: Distribución de cuentas por minuto de un detector en periodos de tiempo equivalentes en Madrid y Alicante

Se observa una diferencia, sí, pero hasta qué punto es significativa es algo que debe ser discutido. Los resultados de esta discusión son fácilmente transferibles a otros estudios en campos muy distintos.

## EL TRABAJO CIENTÍFICO: HIPÓTESIS Y MODELOS (Bachillerato)

Tras realizar medidas de la distribución temporal angular de los eventos candidatos a rayos cósmicos los alumnos exploran cuestiones como la siguientes:

¿De dónde provienen las partículas? ¿Del Sol? ¿Hay variación día – noche? ¿Se distribuyen isotrópamente? ¿Por qué no? ¿Qué pasa si subimos el detector a un avión?

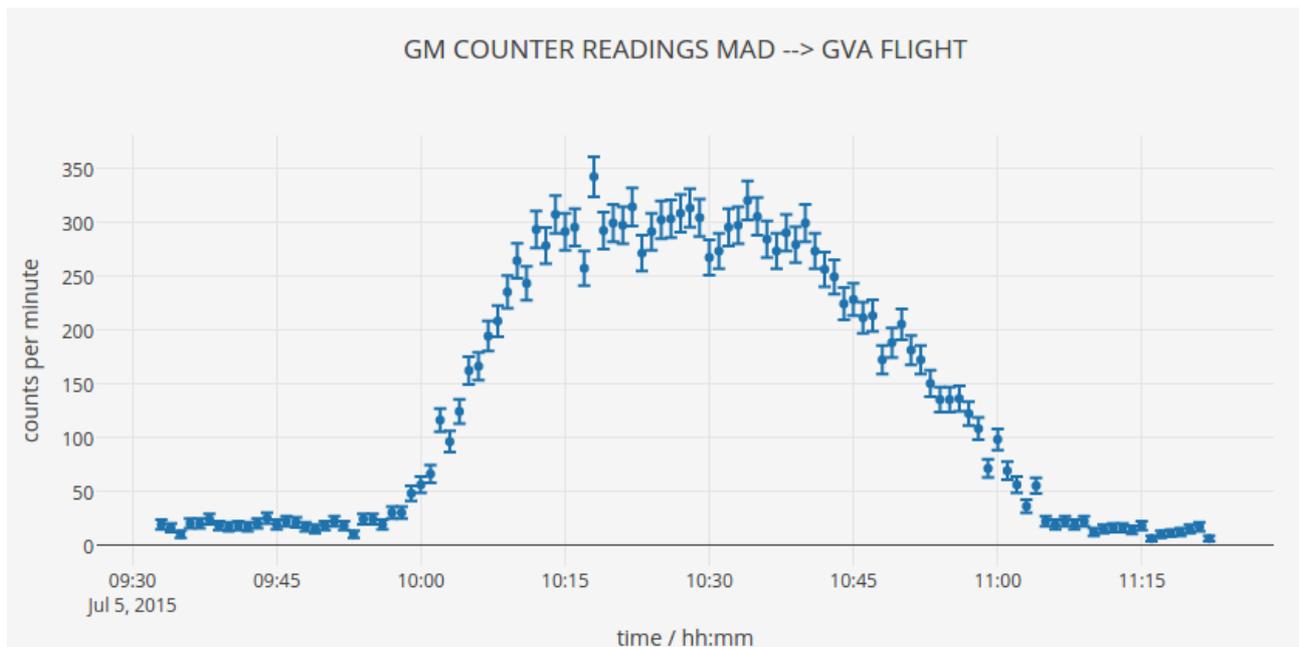


Fig. 7: Cuentas por minuto en un vuelo Madrid - Ginebra

## REFERENCIAS

[1] Por ejemplo <http://mightyohm.com/blog/products/geiger-counter/> (accedido por última vez el 11 de septiembre de 2016).

[2] <https://sites.google.com/site/diygeigercounter/> (accedido por última vez el 11 de septiembre de 2016)

[3] An Inexpensive Cosmic Ray Detector for the Classroom

Goldader, Jeffrey D. and Choi, Seulah, *The Physics Teacher*, 48, 594-597 (2010), DOI: <http://dx.doi.org/10.1119/1517025.3>

[4] Geiger counters offer powerful way to teach detection methods

Blanco, F., Fichera, F., La Rocca, P., Librizzi, F., Parasole, O., & Riggi, F. (2006). *Physics Education*, 41(3), 204. <http://dx.doi.org/10.1088/0031-9120/41/3/F02>

Madrid, 15 de septiembre de 2016

**Mihály Vadai**

Head of Physics, *Norbury Manor Business and Enterprise College for Girls*, London

**Francisco Barradas Solas**

Centro de Intercambios Escolares

Subdirección General de Formación del Profesorado. Comunidad de Madrid