

## Visualización de partículas cargadas ionizantes

Diego Cano Sánchez<sup>1/\*</sup>, María Daniela Ortiz Allende<sup>1</sup>  
Luis Enrique Amarillas Saliá<sup>1</sup>, Hector Rene Vega-Carrillo<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Estudios Nucleares

<sup>2</sup>Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica

Universidad Autónoma de Zacatecas

Ciprés 10, Fraccionamiento La Peñuela

98060 Zacatecas, Zac. México

\*Buzón-e: [qfbcano@gmail.com](mailto:qfbcano@gmail.com)

### Resumen

El ser humano está expuesto a fuentes de radiación ionizante y no ionizante, ambas de origen natural o antropogénico. Ninguna de éstas, excepto la no ionizante como la luz visible y la radiación infrarroja, pueden ser detectadas por el sentido de la vista y del tacto respectivamente. El Sol emite partículas cargadas con velocidades cercanas a la luz que interactúan con los átomos de los gases presentes en la atmósfera produciendo reacciones nucleares que a su vez producen otras partículas que alcanzan la superficie de la Tierra y alcanzando a los seres vivos. En la Tierra existen radioisótopos naturales que al desintegrarse emiten radiación ionizante que contribuyen a la dosis que recibimos. Un sistema muy antiguo que permite la visualización de las trayectorias de las partículas cargadas ionizantes es la Cámara de niebla que usa un vapor saturado que al ser cruzado por partículas con masa y carga, como partículas alfa y beta producen centros de condensación a lo largo de su trayecto que deja una huella que se puede ver. El objetivo de este trabajo fue construir una cámara de niebla usando materiales de fácil acceso. Para probar el funcionamiento de la cámara se midieron los rayos cósmicos, así como una fuente de Uranio natural metálico. La cámara permitió ver la presencia de trazas en vapor de alcohol que se producen en forma aleatoria. Introduciendo la laminilla de Uranio dentro de la cámara permitió observar las trazas de las partículas alfa cuya energía varía de 4 a 5 MeV.

**Palabras clave:** Partículas Cargadas, Ionizantes.

## 1. INTRODUCCIÓN

La radiactividad es la emisión espontánea de partículas y/o fotones con energía suficiente para ionizar y excitar los átomos de los medios donde se transporta. La emisión es un evento aleatorio, donde la rapidez de emisión y el tipo de partícula emitida (fotón, partícula  $\alpha$ ,  $\beta$  o neutrones) es característica de cada radioisótopo (Arya, 1966). La radiactividad es un fenómeno natural que forma parte de nuestra vida cotidiana. Dentro de nuestro cuerpo, el potasio-40, carbono-14, el uranio-238, por nombrar algunos, están presentes de forma natural en nuestro cuerpo y se desintegran con diferentes tasas lo que implica una dosis baja de aproximadamente 0.25 mSv/año y que representa aproximadamente el 10% de la dosis anual total recibida.

Nos encontramos bajo constante bombardeo de partículas que provienen de la radiación natural. Suelo, agua de mar, las paredes de su casa, todos contienen en pequeña proporción de los radionúclidos naturales (Th-232, U-238...) que emiten partículas (gamma, alfa, electrones) que pasan a través de nosotros en cada momento. Estos tipos de radiación tienen energías millones de veces más altas que las detectadas en la superficie de la tierra, siendo más importante conforme la altura sobre el nivel del mar aumenta. A esta radiación telúrica hay que añadir la radiación cósmica que viene "desde arriba", cuando un protón ha pasado a través de la galaxia interactúa con un átomo de nuestra atmósfera, miles de millones de partículas se emiten tras el choque. Una fracción de esas partículas que no han sido absorbidas por la atmósfera llegan (o más bien se vuelven a crear) a nivel del suelo.

La radiación ionizante directa consta de partículas cargadas (electrones energéticos, positrones, protones, partículas alfa, iones pesados, etc.) las cuales interaccionan con el material mediante las fuerzas de Coulomb, que les hace repeler o atraer electrones de los átomos en función de sus cargas, en la Tabla 1 se muestran los dos fenómenos que se presentan.

**Tabla 1.** Interacción de partículas cargadas con el material. (Tsoulfanidis,1995).

PARTÍCULAS CARGADAS MASIVAS	PARTÍCULAS CARGADAS LIGERAS (e+/-)
- Colisiones con e-: pérdida de energía por ionización.	- Colisiones con e-: pérdida de energía por ionización. - Colisiones elásticas con núcleos: cambio de dirección.
- Colisiones elásticas con núcleos: cambios de dirección.	- Colisiones con e-: pérdida de energía por ionización - Colisiones elásticas con núcleos: cambio de dirección. - Bremsstrahlung: emisión de radiación gamma.

Cuando se piensa en medios capaces de detectar la radiactividad que viene inmediatamente a la mente contadores Geiger, estos instrumentos son capaces de detectar la radiactividad de manera eficiente. Sin embargo, existe otro detector que muestra dramáticamente lo que realmente radiactividad: la cámara de niebla.

La radiación ionizante indirecta es producida por partículas sin carga (rayos x, rayos gamma y neutrones), que transfieren su energía a partículas cargadas en el material, las cuales causan la ionización mediante los procesos mostrados en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Interacción con la materia de partículas sin carga. (Tsoulfanidis,1995).

<b>Fotones</b>	- Interacción electromagnética, a través de los fenómenos: efecto fotoeléctrico, efecto Compton o producción de pares.
<b>Neutrones</b>	- Interacción fuerte, por ejemplo: $n + p \rightarrow n + p$ (elástica), el protón adquiere energía y es el que se detecta.
<b>Neutrinos</b>	- Interacción débil, por ejemplo: $\nu + n \rightarrow e^- + p$ , se debe disponer de flujo muy intensos ya que la probabilidad de interacción de un neutrino es insignificante.

Existe una gran variedad de detectores de partículas cargadas, como son los detectores gaseosos, detectores de centelleo, detectores de semiconductor, etc. Es importante destacar que uno de los requerimientos básicos de la física experimental de partículas cargadas es la determinación de sus

trayectorias, para lo cual se emplean los detectores de traza, siendo la Cámara de niebla de Wilson el primer dispositivo para tal fin. (Tsoulfanidis,1995).

El principio básico del funcionamiento de una cámara de niebla es conseguir una atmósfera saturada de vapor, de algún líquido volátil. Para esto el físico Charles Thomas Ree Wilson diseñó en 1911 una cámara hermética, donde el aire del interior estaba saturado con vapor de agua, mediante un diafragma realizaba expansiones adiabáticas para disminuir la presión y enfriar el aire, creando una situación favorable para que al momento en que una partícula cargada atravesara dicha atmósfera, se formaban núcleos de condensación, dejando un rastro visible de su trayectoria (Griffiths,2008) . Sin embargo, se requería de expansiones sucesivas, lo cual impedía tener un funcionamiento continuo, la cámara de niebla de difusión solucionó tal problema. Fue desarrollada por el físico Alexander Langsdorf en 1939, en la cual se genera un gradiente térmico, permitiendo la condensación a causa de las partículas cargadas que atraviesan la zona fría de la cámara de forma permanente.

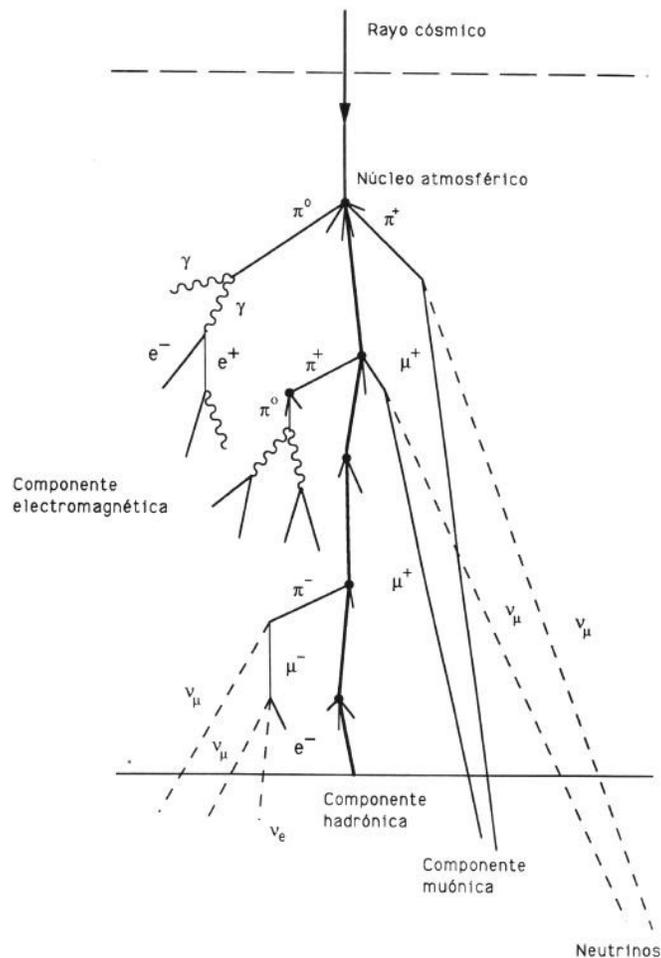
La cámara de niebla se convirtió en un instrumento de investigación muy útil, dando paso al descubrimiento de nuevas partículas mediante la observación de los rayos cósmicos y al estudio de su curvatura ante la presencia de campos magnéticos. Anderson detectó el positrón en 1932 y el muon en 1936 en los rayos cósmicos (Griffiths,2008).

Las dos fuentes de radiación más importantes detectadas por la cámara de niebla son los rayos cósmicos y la radiación terrestre (principalmente del gas radón). Entre las partículas que constituyen a los rayos cósmicos primarios se encuentran los protones (86%), partículas alfa (11%), núcleos de elementos más pesados como el uranio (1%) y electrones (2%) (Griffiths,2008). Estas partículas colisionan con la atmósfera de la tierra e interactúan con los átomos que la conforman, produciendo los rayos cósmicos secundarios, creando más partículas mostradas en la figura 1.

La radiación terrestre proviene de la desintegración de radionúclidos primordiales (uranio-235, uranio-238 y torio-232.), los cuales tienen vidas medias muy largas comparables a la edad de la tierra. La mayor contribución se debe a la concentración del gas radón-222 que

decae por emisión alfa y es producto de desintegración del uranio-238, el radón está contenido en el suelo y en materiales de construcción.

Las cámaras de niebla fueron usadas ampliamente hasta la aparición de cámaras más sofisticadas y complejas, fue dentro de estas consideraciones que se planteó el objetivo de construir una cámara de niebla para visualizar las trazas, e identificar las trayectorias, producidas por partículas cargadas de alta energía, provenientes principalmente de los rayos cósmicos, desintegraciones del radón y una fuente radiactiva.



**Figura 1:** Cuando un rayo cósmico primario entra en la atmósfera se produce una cascada de partículas elementales muchas de las cuales pueden alcanzar la superficie terrestre. (Ferrer et al.,2005).

El objetivo de este trabajo fue construir una cámara de niebla para visualizar las trazas, e identificar las trayectorias, producidas por partículas cargadas de alta energía, provenientes principalmente de los rayos cósmicos. El origen de los rayos cósmicos proviene de la radiación solar generada por erupciones solares donde los protones componen la mayoría de esta radiación. Estas partículas en su interacción, producen partículas secundarias que son detectables mediante este tipo de cámaras. La cámara opera mediante una atmósfera saturada de vapor de alcohol. En el momento en que una partícula cargada atraviesa la zona fría de la atmósfera, se ioniza el medio y la partícula actúa como un núcleo de condensación del vapor de alcohol, dejando un rastro visible de su trayectoria. La cámara construida resultó ser muy estable, permitiendo una detección en forma continua y la observación de diversos sucesos.

## **2.- MATERIALES Y MÉTODOS**

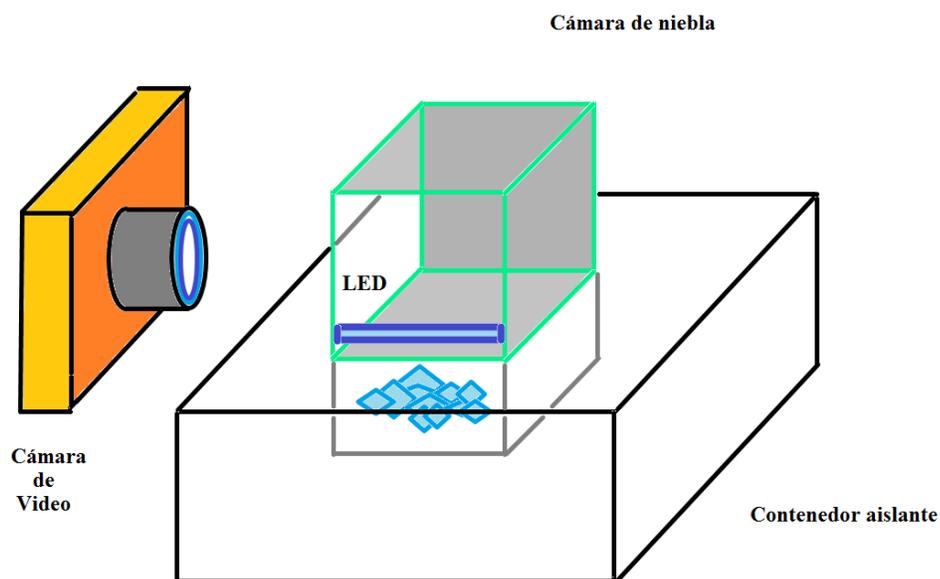
Durante la construcción de la cámara de niebla, se llevaron a cabo una serie de pasos que se describen a continuación, así como materiales y procedimientos para llevar a cabo el objetivo de este trabajo.

### **Construcción de La Cámara de Niebla**

La cámara construida se muestra en la figura 2, consta de un recipiente de vidrio tipo pecera, de dimensiones: 15 cm de largo x 10 cm de ancho x 20 cm de altura, sellado con silicón frío, de tal manera que una de las caras que constara de una placa lisa de aluminio de 21 cm de largo por 16 cm de ancho, cerrara la cámara.

La cara interior de la placa de aluminio será pintada de color negro para poder observar con mayor claridad las trazas. En contacto con la placa estará un contenedor de hielo seco ( $\text{CO}_2$ ) elaborado con poliestireno expandido (unicel) que actúa como aislante térmico y evitará que el  $\text{CO}_2$  no se consuma rápido. En la parte superior de la cámara en la cara interna se pegaron 4

tiras de fieltro para depositar alcohol isopropílico (marca J.T. Baker) y para la iluminación se empleó una linterna LED.



**Figura 2.** Esquema del diseño experimental

La cámara se compone de 3 partes, la base (sistema de enfriamiento) en la parte inferior tiene la función de enfriar el interior de la cámara debido al contacto directo de la placa de aluminio con hielo seco (CO<sub>2</sub>) que se encuentra a  $-77^{\circ}\text{C}$ .

Sobre este sistema de enfriamiento se encuentra la cámara de observación (cámara de niebla), donde el área una vez enfriada permitirá la visualización de las trazas, y en la parte superior de la cámara, la zona de evaporación donde se encuentra el alcohol isopropílico.



**Figura 3.** Cámara de Niebla

Una vez construida y ensamblada la cámara de niebla, el procedimiento experimental comenzó con el depósito de 25 ml de alcohol isopropílico (2-propanol  $\text{CH}_3\text{CH}(\text{CH}_3)\text{OH}$ ) marca J.T. Baker con una pureza del 99.99%, a lo largo de la tira de fieltro, se empleó este tipo de alcohol debido a que se evapora con facilidad y requiere de una baja energía de ionización para formar los núcleos de condensación. Se depositó una buena cantidad de hielo seco  $\text{CO}_2$  en fragmentos pequeños en el contenedor, esparciéndolo de manera uniforme, después se procedió al sellado de la cámara con cinta de aislar alrededor del perímetro de la base de aluminio con las paredes laterales (es muy importante que la cámara sea hermética), en seguida se colocó sobre el contenedor, cuidando que la base de aluminio hiciera un buen contacto con el hielo seco. Para calentar el alcohol y acelerar su evaporación, se colocó sobre la cámara una compresa de agua caliente. Una vez armada la cámara se oscureció parcialmente la habitación y se iluminó el área sensible con el proyector desde un costado de la cámara.

Transcurrieron entre 10 y 15 minutos antes de empezar a funcionar. La diferencia de temperatura es la que permite obtener el gradiente térmico, iniciándose con la evaporación del alcohol, el cual desciende por la gravedad en forma de rocío o niebla hacia la zona más fría de la cámara, creando una atmósfera saturada de vapor de alcohol, al ser atravesada por una partícula ionizante deja un rastro visible debido a los núcleos de condensación del vapor

de alcohol. Al momento en que se empezó a crear la niebla, se procedió a grabar un video para registrar las trazas de las partículas incidentes.

### 3.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para la identificación de partículas, se realizó un análisis cualitativo de los diferentes sucesos registrados en la grabación mediante la comparación de las trayectorias reportadas por cámaras de niebla más sofisticadas y la teoría que lo sustenta.

Se detectaron partículas alfa que provienen de la desintegración del radón, estas partículas tienen un alto poder ionizante y depositan su energía en un corto espacio, formando una traza gruesa, corta, brillante y recta. Las trazas más largas corresponden a las partículas alfa emitidas por una fuente de óxido de uranio natural de la cual se desconoce su actividad. Las trazas se muestran en la Figura 4.



**Figura 4.** Trazas de partículas alfa provenientes de una laminilla de  $\text{UO}_2$

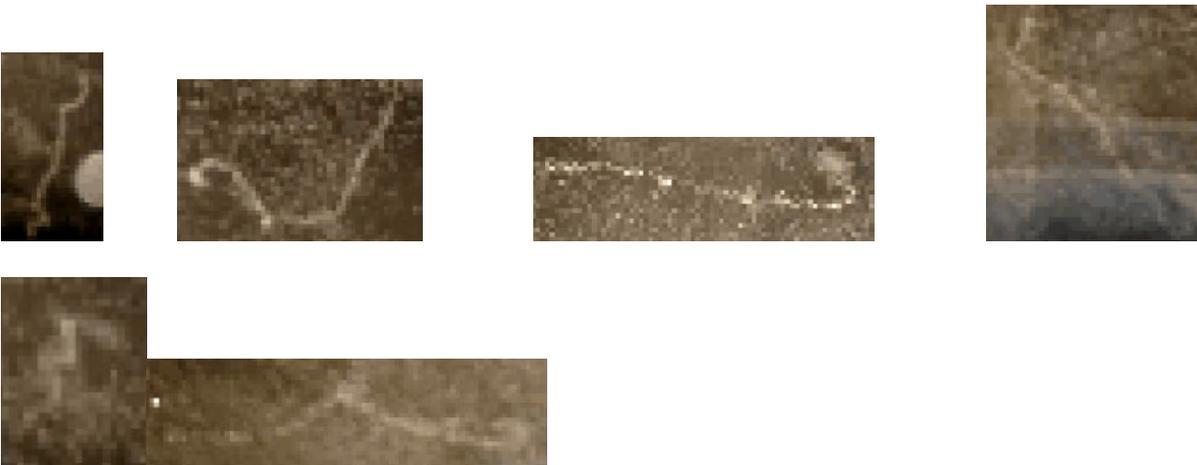
Puede observarse en la figura 5 los protones que provienen de los rayos cósmicos secundarios, depositan toda su energía en la cámara y forman trazas rectas, largas, de

grosor y luminosidad media. La detección de este tipo de partículas fue el suceso más frecuente.



**Figura 5.** Traza de un protón por colisiones elásticas (neutrón-protón).

La traza de los fotoelectrones y electrones Compton es fina, su trayectoria es corta y presenta múltiples cambios de dirección debido a las colisiones, en la figura 6 se muestran tales trayectorias, así como un evento producción de pares.



**Figura 6.** Trazas producidas por efecto fotoeléctrico, dispersión de compton y producción de pares.

Los muones se desintegran en dos neutrinos (indetectables) y un electrón, se detectó su traza, la cual es fina y recta, con un cambio súbito de dirección, de forma V asimétrica o L, cuya detección se muestra en la figura 7.



**Figura 7.** Trazas producidas por muones.

#### 4.- CONCLUSIONES

Se construyó satisfactoriamente una cámara de niebla para visualizar las trazas de partículas cargadas ionizantes.

La cámara de niebla de difusión diseñada en este trabajo se puede emplear como una herramienta práctica, muy sencilla de construir y de fácil acceso para profesores, estudiantes y público en general ya que su operación resultó exitosa y estable, manteniendo su funcionamiento continuo durante algunos minutos.

La principal dificultad fue la distinción entre las diferentes partículas, las imágenes seleccionadas fueron aquellas en las que se observó con mayor claridad la trayectoria característica de las trazas para poder identificar el tipo de partícula, aunque no hay un 100% de certeza debido a la similitud entre las trazas de dos partículas distintas, la elevada velocidad de la formación de la traza o la mala resolución de la imagen.

## Agradecimientos

Los tres primeros autores agradecemos al CONACyT por la beca otorgada para realizar estudios de postgrado, así como el apoyo recibido por parte del COZCyT para participar en el ISSSD 2017.

## REFERENCIAS

- Arya, A.P. (1971). *Fundamentals of Nuclear Physics*. Allyn and Bacon.
- Cember, H. T Johnson T.E. (2008). *Introduction to Health Physics*. Fourth Edition. New York. McGraw Hill Company, Inc.
- Ferrer Soria, A. & Ros Martínez, E. (2005). *Física de partículas y de astropartículas*. Valencia, España: Maite Simón.
- Tsoufanidis, N. (1995). *Measurement and detection of radiation*. 2<sup>nd</sup> edition. Taylor & Francis.
- Leo, W. R. (1994). *Techniques for nuclear and particle physics experiments: A how-to approach*. Spinger.
- Flakus, F. N. (1982). *Detecting and measuring ionizing radiation – A short history*. IAEA Bulletin 23(4): 31-36.
- Dunai, T. J. (2010). *Cosmogenic nuclides: Principles, concepts and applications in the Earth surface sciences*. Cambridge University Press.
- Griffiths, D. (2008). *Introduction to Elementary Particles*. 2<sup>nd</sup> ed. Weinheim. Wiley-VCH.
- NASA. [En línea]. *Introduction to the Electromagnetic Spectrum*. <[https://science.nasa.gov/Ems/01\\_intro](https://science.nasa.gov/Ems/01_intro)>. [Consultada en Julio 2017].