

del planeta sobre la vertical, y en el hemisferio sur, en sentido antihorario. A partir del ajuste se obtuvo:

$$\Omega_{T,exp} = (16.7 \pm 1.3) \text{ } ^\circ/\text{s}$$

lo que representa un error relativo de 0.14 % respecto al valor teórico de la velocidad de giro del modelo planetario en el laboratorio. Las desviaciones se interpretan como consecuencia de limitaciones mecánicas del montaje, fricción y alineación del giróscopo.

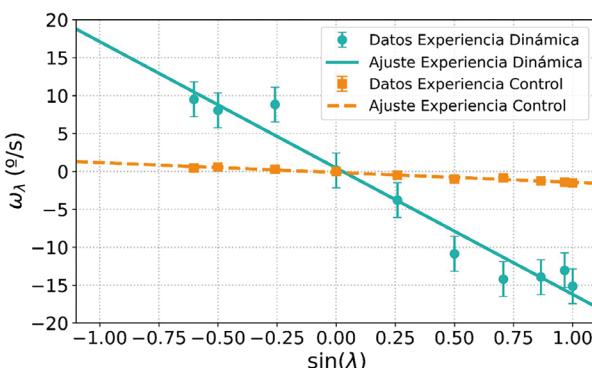


Figura 13. Ajuste lineal de la velocidad angular de precesión ω_λ en función del seno de la latitud, a partir de los datos experimentales. Se representan también los resultados de la experiencia control.

En la experiencia control, llama la atención que también se obtuvo una ligera precesión en el mismo sentido que la inducida por la rotación, es decir, según el efecto de Coriolis. La pendiente obtenida al ajustar la velocidad angular de precesión residual con respecto a la latitud es de:

$$a = (-1.297 \pm 0.078) \text{ } ^\circ/\text{s}$$

Esto se atribuye a desequilibrios mecánicos y a una suspensión Cardán no ideal, que puede generar un par neto distinto de cero sobre el sistema.

5. Conclusiones

Este experimento demuestra de manera sencilla cómo la precesión de un giróscopo situado en un modelo planetario cambia según la latitud, tal y como predice la teoría del efecto Coriolis. Aunque el montaje tiene pequeñas imprecisiones debidas a la naturaleza no ideal del giróscopo, los resultados reflejan fielmente la relación teórica con la latitud y permiten calcular la velocidad de rotación del modelo con bastante exactitud. Este método ofrece una forma accesible y didáctica de experimentar fenómenos inerciales que normalmente no se perciben en la vida cotidiana, acercando la física a cualquier aula o espacio divulgativo.

Referencias

- [1] J. B. MARION, *Dinámica clásica de las partículas y sistemas* (Reverté, 2017).
- [2] M. CABRIZO, Los diez experimentos más bellos de la física en la Universidad de Granada, *Revista Española de Física* **27**(1), 41 (2013).
- [3] Phyphox, <https://phyphox.org/>
- [4] Tracker, <http://physlets.org/tracker/>
- [5] M. BONAMENTE, *Systematic Errors and Intrinsic Scatter*, p. 315, cap. 17, en *Statistics and Analysis of Scientific Data* (Springer Nature, 2022).

Enseñar física de partículas en el aula a través de la construcción de cámaras de niebla por parte del alumnado

Jorge Pozuelo-Muñoz
Universidad de Zaragoza



Carlos Rodríguez-Casals
Universidad de Zaragoza



Esther Cascarosa-Salillas
Universidad de Zaragoza



Lidia Ranz-Villarino
IES Clara Campoamor



Este trabajo presenta una propuesta didáctica basada en la construcción y uso de cámaras de niebla para la enseñanza de la física de partículas en la educación secundaria y el bachillerato. A pesar de que este tópico aparece como saber en el currículo nacional, su implementación en el aula es escasa y generalmente alejada de enfoques experimentales. La propuesta se enmarca en una línea de investigación didáctica con enfoque STEM, y permite al alumnado diseñar, construir y analizar su propia cámara, favoreciendo la comprensión de conceptos como la radiación ionizante, la detección de partículas y el modelo estándar. Se incorpora, además, el uso de tubos de rayos catódicos como elemento para generar trazas en la cámara de niebla de manera controlada, ampliando las posibilidades experimentales sin necesidad de emplear materiales radiactivos regulados. La experiencia ha sido implementada en centros educativos y programas de formación docente, mostrando un alto grado de aceptación y aplicabilidad.

Se concluye que esta actividad no solo permite trabajar contenidos abstractos de manera accesible, sino que promueve la investigación escolar, el pensamiento crítico y el aprendizaje activo de la física.

1. Introducción

La física de partículas constituye uno de los pilares fundamentales del conocimiento científico actual. Su relevancia no solo se manifiesta en el desarrollo de modelos explicativos como el modelo estándar, sino también en sus aplicaciones tecnológicas y en su impacto en la comprensión de la naturaleza y la "nueva física". Sin embargo, sigue existiendo un considerable desconocimiento social sobre esta disciplina. Este vacío ha motivado a instituciones científicas como el CERN (Consejo Europeo para la Investigación Nuclear) o la RSEF (Real Sociedad Española de Física) a desarrollar iniciativas de divulgación que acerquen la física de partículas al público general [1].

En el contexto educativo, esta brecha también es evidente. Aunque los currículos de secundaria y bachillerato en España incluyen referencias explícitas a conceptos de la física moderna y de partículas, su presencia en las aulas es aún limitada y su tratamiento se reduce, en muchos casos, a menciones aisladas sin acercarse en ningún caso a plantear un enfoque experimental y mucho menos interdisciplinar [2]. No obstante, existen propuestas educativas que introducen actividades prácticas, como el uso de las cámaras de niebla o simulaciones digitales para trabajar estos contenidos [3, 4, 5], más bien orientadas a la observación por parte del alumnado de trazas provenientes de la radiación natural.

En este contexto, este trabajo presenta una manera de acercar la física de partículas al alumnado de secundaria y bachillerato mediante una propuesta experimental integrada en el enfoque STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas). La iniciativa se orienta al diseño y construcción de cámaras de niebla "caseras" por parte del alumnado, a la resolución de los problemas constructivos que van surgiendo y al análisis de los fenómenos observados. Para enriquecer la experiencia experimental, se incorpora el uso del tubo de rayos catódicos como elemento para generar trazas en la cámara de niebla de manera controlada, lo que permite introducir variables manipulables y contrastables dentro del sistema de detección.

2. La física de partículas en el currículo y en los libros de texto

La física de partículas ha tenido históricamente una presencia limitada en la educación secundaria y el bachillerato, siendo visto como un contenido complejo tanto conceptual como didácticamente. Sin embargo, se construye sobre conocimientos previos como los modelos atómicos y las fuerzas fundamentales, introducidos desde 2.º y 3.º de ESO. En 4.º de ESO se abordan por primera vez las partículas subatómicas y su vínculo con los avances científicos, permitiendo trabajar conceptos de física moderna. En 2.º de Bachillerato, el currículo incorpora el modelo estándar, la clasificación de partículas, las interacciones fundamentales y menciona los principales centros de investigación.

La lenta transposición del saber científico hace que muchos estudiantes terminen su formación creyendo erróneamente que, por ejemplo, protones o neutrones son partículas elementales, pese a que se conoce su estructura interna (quarks) desde hace más de 50 años. En este contexto, los libros de texto siguen siendo centrales en la práctica docente. Su análisis revela que, aunque incluyen referencias puntuales a conceptos clave como los quarks o el modelo estándar, no los presentan de forma sistemática ni con una progresión didáctica clara. Además, su tratamiento suele ser superficial y centrado en actividades teóricas.

Figura 1. Algunos contenidos sobre física de partículas en libros de texto: a) 2.º de ESO; b) 3.º de ESO; c) 2.º de Bachillerato.



Figura 1. Algunos contenidos sobre física de partículas en libros de texto: a) 2.º de ESO; b) 3.º de ESO; c) 2.º de Bachillerato.

3. Construcción de la cámara de niebla

3.1 Nuestra experiencia con las cámaras de niebla

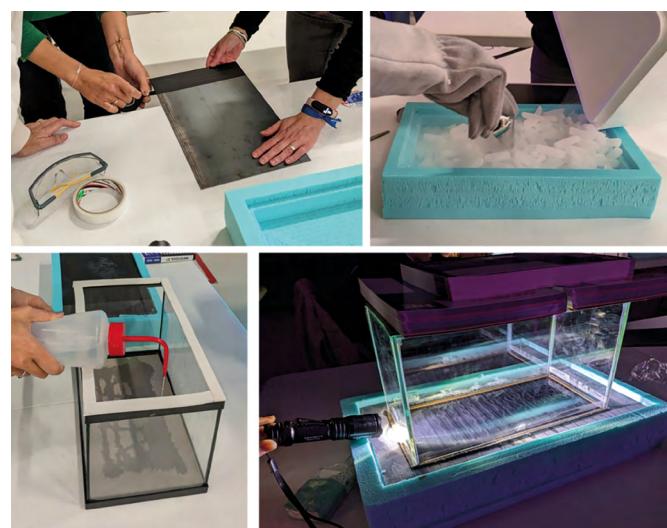


Figura 2. Proceso de montaje de la cámara de niebla.

La cámara de niebla es un detector de partículas ionizantes basado en la condensación de vapor de isopropanol sobre una superficie fría. Para su construcción se necesitan materiales accesibles en el entorno escolar: un recipiente transparente, fieltro, burletes adhesivos, cinta aislante negra, una plancha metálica, isopropanol de alta pureza (99 %) y hielo seco (CO_2 sólido). Estos dos últimos se pueden adquirir en tiendas especializadas o en plataformas *online*. La cámara se monta sobre un contenedor aislante térmico (por ejemplo: poliestireno) que mantiene el hielo seco en contacto con la plancha metálica, generando un fuerte gradiente térmico. La cinta negra se pega en la plancha metálica para evitar reflejos de la fuente de luz que ilumina la cámara, facilitando la observación. El fieltro, impregnado con isopropanol, se adhiere en la parte interior superior del recipiente. La figura 2 muestra el proceso de montaje y en la figura 3, un esquema de la cámara montada. Al

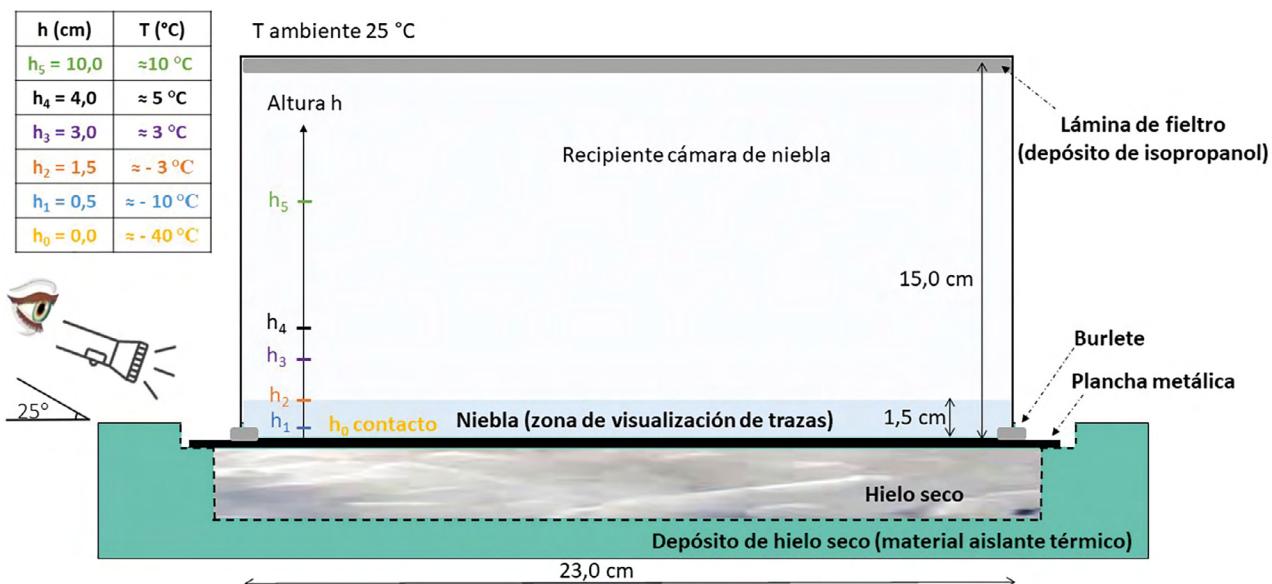


Figura 3. Esquema de una de las cámaras de niebla con los diferentes elementos, temperaturas óptimas a las diferentes alturas para la observación de trazas y ángulo de iluminación y observación

evaporarse, el vapor de alcohol desciende y se encuentra con la plancha metálica, cuya temperatura ronda los -40 °C gracias al hielo seco. Este contraste térmico produce una “niebla” supersaturada, donde las partículas ionizantes dejan trazas visibles al ionizar el vapor, facilitando su condensación a lo largo del recorrido de la partícula. El contraste térmico entre la superficie fría (en torno a -40 °C) y el vapor de alcohol a temperatura ambiente produce un estado de sobresaturación, ya que el aire en contacto con la placa metálica no puede retener la cantidad de vapor presente. En este medio metaestable, el paso de una partícula ionizante genera iones que actúan como centros de condensación, favoreciendo que el isopropanol se condense a lo largo de su trayectoria. El resultado es la formación de finas estelas visibles que corresponden a las trazas de las partículas que atraviesan la cámara.

Existen recursos en línea que ofrecen tutoriales para la construcción de cámaras de niebla, lo que podría dar la impresión de que se trata de un experimento sencillo de replicar. Sin embargo, la experiencia nos ha demostrado que, lograr un funcionamiento estable que permita la observación clara de trazas de partículas presenta múltiples dificultades técnicas. Durante los años 2023 y 2024 llevamos a cabo una investigación centrada en la optimización del diseño y las condiciones de uso de las cámaras de niebla en entornos educativos [2, 6]. Para ello, construimos distintos modelos con variaciones en tamaño, materiales y proporciones, y realizamos pruebas experimentales sistemáticas. Se llegó a la conclusión de que la cámara con medidas de 13 cm \times 23 cm \times 15 cm (ancho, largo y alto), fue la que permitió una observación más rápida y nítida de las trazas. Para llegar a esta conclusión, uno de los aspectos clave fue la medición del gradiente térmico interno, utilizando sensores digitales DS18B20 (de rango -55 °C/ 125 °C y sensibilidad de $\pm 0,5$ °C) conectados a placas Arduino. Estos sensores se situaron a distintas alturas sobre la placa metálica ($0,0$; $0,5$; $1,0$; $1,5$; $3,0$; $4,0$; 10 cm) para registrar con precisión la evolución de la temperatura en el interior de la cámara. Se genera un gradiente térmico en dirección vertical, siendo la temperatura mínima la alcanzada en contacto con la chapa. La temperatura aumenta con la altura, aunque el

gradiente disminuye con la altura. Es decir, aunque la temperatura aumenta en la vertical, aumenta mucho rápido en la parte inferior (cercana a la chapa). Los resultados mostraron que, en concreto, el mayor gradiente térmico se produce en los primeros 2 cm por encima de la superficie metálica, alcanzando diferencias superiores a los 25 °C. Esta zona es precisamente donde se forman las trazas de partículas, ya que es allí donde el vapor de isopropanol se encuentra en condiciones de sobresaturación. Por tanto, cualquier desviación que afecte al enfriamiento de esta zona compromete la generación de trazas. En la figura 3, se pueden observar los datos óptimos de temperatura para una de las cámaras de niebla y en la figura 4 se pueden consultar las temperaturas medidas a diferentes alturas y a lo largo del tiempo.

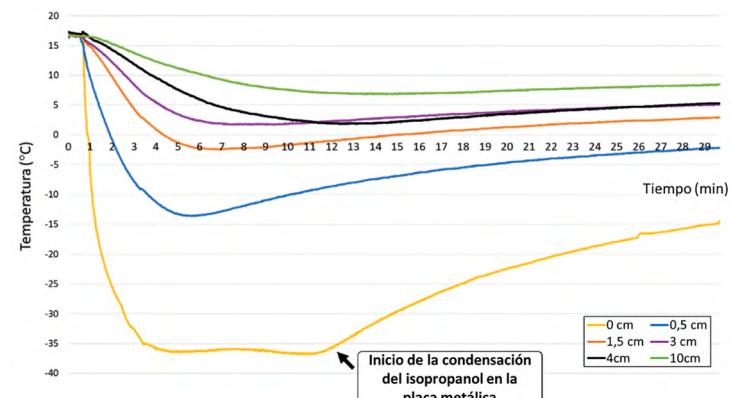


Figura 4. Temperaturas medidas a diferentes alturas sobre la placa metálica en el interior de la cámara de niebla de dimensiones 13 cm \times 23 cm \times 15 cm.

Presentamos ahora los problemas más comunes que hemos identificado durante las pruebas (figura 5): a) falta de estanqueidad del recipiente, que provoca una rápida condensación del vapor de agua, formando una nieve; b) contacto insuficiente entre la placa metálica y el hielo seco, impidiendo alcanzar las temperaturas necesarias; c) desproporción entre el tamaño del recipiente y la plancha, lo que facilita la entrada de calor exterior y que la placa metálica no

alcance la temperatura deseada; d) temperaturas ambientales elevadas que dificultan la creación del gradiente térmico y provoca condensación del isopropanol sobre la placa metálica; e) niveles altos de humedad ambiente provocan que se condense agua sobre las paredes de la cámara de niebla y no se observe de manera sencilla.

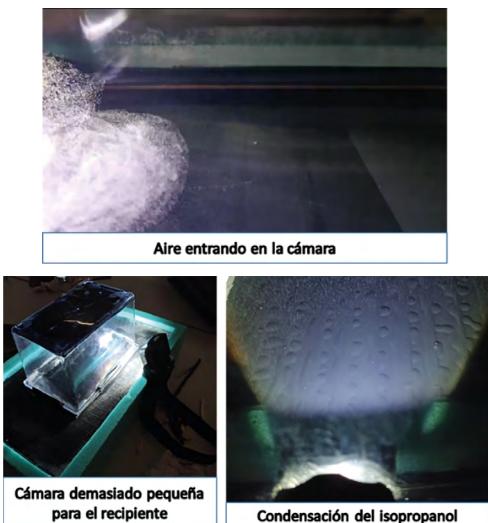


Figura 5. Algunos problemas que podemos encontrar en la observación.

3.2 Visualización de trazas

Radiación natural

Las trazas pueden observarse a simple vista en condiciones de luz tenue, aunque se recomienda utilizar una fuente de luz focal —como una linterna— dirigida lateralmente hacia la zona inferior de la cámara, para mejorar el contraste y la visibilidad. La aparición de las primeras trazas suele producirse entre 5 y 10 minutos después de colocar la plancha metálica sobre el hielo seco. Este intervalo varía en función de las condiciones ambientales (temperatura y humedad) y del tamaño de la cámara. En cámaras de mayor volumen, el enfriamiento hasta alcanzar el gradiente térmico necesario puede tardar más, pero una vez logrado, el tiempo de observación óptima tiende a prolongarse gracias a una mayor estabilidad térmica.



Figura 6. Observación de trazas con la cámara de niebla: a y b) descomposición del radón; c) electrón; d) muon; e) electrón desviado al interaccionar con otra partícula.

Las partículas más comunes que se observan sin necesidad de fuente externa son electrones, radiación beta, muones de origen cósmico y en menor medida, partículas alfa y descomposición de partículas en otras. Las trazas suelen aparecer de forma aleatoria, con diferentes grosores y curvaturas. Estas diferencias permiten iniciar una clasificación básica con el alumnado en función de las características de su trazo. Las trazas observadas en la cámara de niebla presentan morfologías diferenciadas que permiten una identificación cualitativa: las partículas alfa generan líneas rectas y anchas debido a su mayor masa y poder de ionización, los electrones o partículas beta dejan trazos finos y sinuosos, mientras que los muones cósmicos se caracterizan por trayectorias rectas, largas y muy finas que atraviesan todo el volumen de la cámara. Estas son las más comunes de observar.

En la figura 6 se pueden observar diferentes trazas de partículas detectadas. En el caso de la descomposición del radón, este se desintegra emitiendo partículas alfa que dan lugar a la formación de un núcleo de plomo (como el plomo 212). Este proceso genera secuencias de trazas cortas y anchas en la cámara de niebla.

Uso de fuentes

Para enriquecer esta fase inicial, se puede introducir una fuente de radiación débil y legalmente manejable en el aula, como una muestra de pechblenda (uraninita), un mineral rico en uranio que genera partículas alfa y beta y sus descendientes radioactivos presentes en el mineral. Las partículas alfa producen líneas rectas y anchas, mientras que las beta originan trazos finos y curvos, lo que permite al alumnado comparar ambas morfologías de manera cualitativa. También pueden utilizarse objetos cotidianos con trazas de radiación natural, como detectores de humo antiguos (americio, emisor de partículas alfa). Colocar estas fuentes cerca de la cámara permite aumentar la frecuencia y variedad de trazas observables (figura 7).

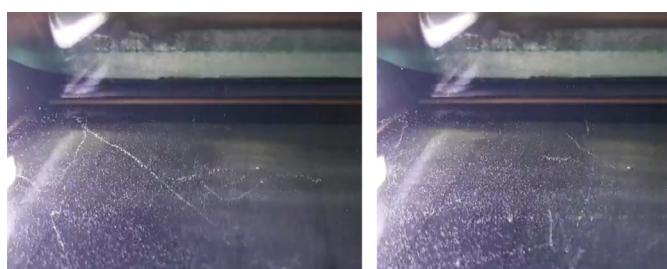


Figura 7. Trazas observadas al acercar pechblenda.

3.3. Uso de fuentes y tubo de rayos catódicos

Es posible dar un paso más en la experimentación incorporando fuentes dirigidas y controladas que permitan inducir fenómenos visibles en la cámara de niebla. En este sentido, el uso de un tubo de rayos catódicos (figura 8) se presenta como una solución segura, accesible y altamente efectiva para generar campos eléctricos que producen trazas en la cámara de niebla de forma controlada y reproducible. El tubo de rayos catódicos empleado corresponde a un modelo educativo comercial disponible en distribuidores de material didáctico de física, junto con un generador de alta tensión. Este último proporciona pulsos de entre 5 y 7 kV.

En la figura 8 se observa el tubo de rayos catódico encendido, junto con la fuente de generación de pulsos de alta

tensión con un pulsador. Con esta fuente, el tubo situado a unos 5 cm de la cámara, genera un campo eléctrico intenso en su proximidad que induce ionización de las moléculas del isopropanol en la cámara de niebla, dando lugar a la formación de numerosas trazas finas y curvas que corresponden a electrones. Se recomienda que el pulso tenga una duración aproximada de 1 segundo, si se deja pulsado más tiempo, como muchas moléculas de isopropanol se encuentran ya ionizadas no se observan más trazas. En la figura 9, se muestra la secuencia de observación de las trazas cuando generamos un pulso con el tubo de rayos catódicos.

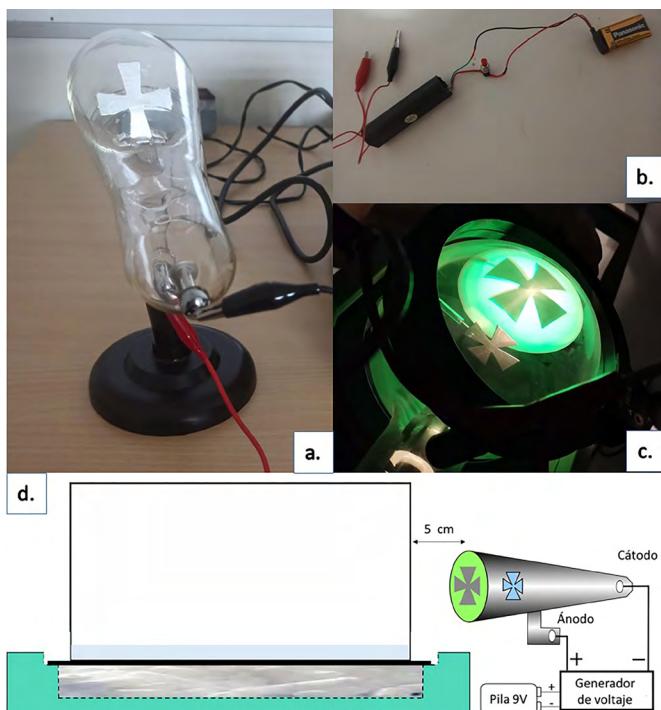


Figura 8. Montaje del tubo de rayos catódicos: a. tubo utilizado; b. generador de pulsos de alta tensión (generador de voltaje); c. tubo encendido; d. esquema general.

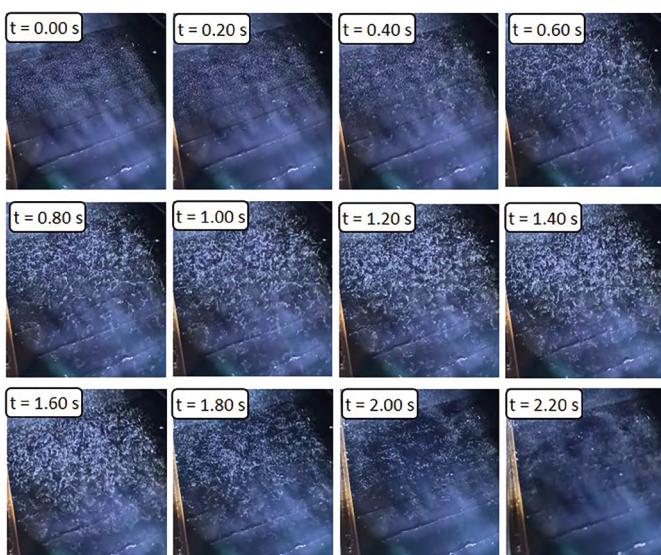


Figura 9. Observación de trazas con el tubo de rayos catódicos. Adaptada de la ref. [6].

Para ampliar el alcance experimental, se propone interponer materiales entre el tubo y la cámara, actuando como barreras de apantallamiento del campo eléctrico. Algunos

materiales que han sido probados para observar este efecto de apantallamiento son: hojas de papel, fieltro o láminas metálicas de distinto grosor. Esta intervención permite experimentar cómo las barreras reducen impiden que el campo eléctrico ionice las moléculas de isopropanol, afectando así a la generación de trazas. El alumnado puede observar, por ejemplo, cómo las trazas disminuyen al interponer el fieltro y desaparecen casi por completo tras una barrera metálica fina.

4. Propuesta desarrollada con los estudiantes

Construir desde su inicio una cámara de niebla en el aula ofrece una experiencia didáctica que va más allá de la mera observación de partículas. Esta actividad permite trabajar de forma integrada los cuatro pilares del enfoque STEM —ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas— a través de una propuesta en la que el alumnado asume el rol de diseñador, investigador y analista. El proceso se estructura en las cuatro fases mostradas en la figura 10.

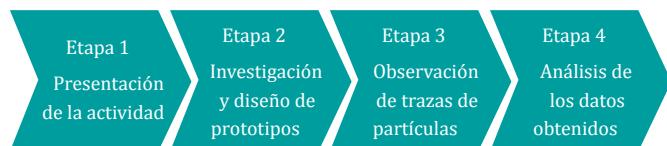


Figura 10. Etapas en la actividad de construcción de la cámara de niebla.

Etapa 1. Presentación de la actividad

La propuesta didáctica comienza con preguntas abiertas que invitan a la reflexión: “¿Podemos ver partículas elementales? ¿Cómo?” A partir de estas cuestiones iniciales, el alumnado plantea nuevas preguntas relacionadas, como si existen instrumentos capaces de visualizarlas o qué observamos en realidad. En este punto, se establecen conexiones con fenómenos conocidos, como las estelas de condensación (*chemtrails*) dejadas por los aviones, lo que permite contextualizar la idea de “traza” en un marco cotidiano. El siguiente paso es una búsqueda guiada de información sobre detectores de partículas subatómicas, facilitando al alumnado enlaces con recursos específicos para la construcción de una cámara de niebla.

Etapa 2. Investigación y diseño de prototipos

En grupos, el alumnado investiga el funcionamiento de las cámaras de niebla. Deben buscar materiales cotidianos para la construcción de su propia cámara de niebla, justificando su elección, y plantear hipótesis sobre el diseño más adecuado. Se trabaja la estanqueidad de la cámara, la absorción del alcohol por el fieltro, el aislamiento térmico y el ensamblaje correcto de las piezas. Cada equipo construye su prototipo y lo valida experimentalmente. En este proceso surgen preguntas relacionadas con los principios físicos de la cámara de niebla y de cuáles son los materiales más adecuados, siendo los propios estudiantes quienes han planteado algunas de ellas.

- ¿Qué tipo de recipiente conservará mejor el frío: vidrio o plástico?
- ¿Qué características debe tener la chapa metálica para garantizar una buena conducción térmica?
- ¿Cómo podemos evitar el brillo metálico de la placa y los reflejos al iluminar con una fuente de luz?
- ¿Se puede enfriar con algo que no sea hielo seco? ¿Por qué usar dicho material?

- ¿Qué importancia tiene el gradiente de temperatura en el interior?
- ¿Por qué no podemos generar dicho gradiente colocando una fuente de calor en la parte superior de la cámara en lugar de bajar la temperatura de la plancha metálica?
- ¿Qué función cumple el isopropanol? ¿Por qué no sirve otro alcohol?

En la fase de construcción (la figura 11 muestra algunos resultados) las decisiones tomadas se ponen a prueba:

- ¿Cómo garantizamos que la cámara esté completamente estanca?
- ¿Qué ocurre si el contacto entre la plancha y el hielo seco no es uniforme?
- ¿Cuánta cantidad de isopropanol es adecuada para saturar el ambiente sin que se condense en exceso?
- ¿Afectan las condiciones externas de temperatura o humedad a la observación de las trazas?



Figura 11. Algunos ejemplos de cámaras de niebla construidas por el alumnado.

Etapa 3. Uso de las cámaras y observación de trazas

En esta sesión, el alumnado pone a prueba sus propios prototipos. Estas cámaras no siempre funcionan correctamente y, por ello, se llevan otras construidas previamente que garantizan la observación de trazas. En esta sesión, los alumnos graban vídeos y realizan un análisis cualitativo de las trazas de las partículas observadas (figura 12). En la observación, surgen cuestiones como:

- ¿Dónde aparecen más trazas y por qué?
- ¿Qué tipo de partículas pueden haber generado cada tipo de traza?
- ¿Cómo influye la temperatura externa o el tamaño de la cámara en la observación?
- ¿Qué tipo de partículas generan las trazas que estamos observando?
- ¿Por qué algunas trazas son rectas y finas y otras curvas o más gruesas?
- ¿Cuál es el origen de las partículas si no hay ninguna fuente aparente?
- ¿Qué diferencia hay entre observar radiación natural y añadir una fuente cercana?
- ¿Cómo podríamos identificar el tipo de partícula a partir de su traza?



Figura 12. Sesiones de implementación con estudiantes de secundaria.

Estas cuestiones invitan a introducir contenidos clave de la física nuclear y de partículas, como la naturaleza de las interacciones ionizantes, la distinción entre partículas alfa, beta y muones, y el concepto de radiactividad natural. También se pueden abordar reflexiones más amplias sobre la presencia cotidiana de la radiación y su percepción social.

En cuanto al uso del tubo de rayos catódicos, este permite al alumnado comparar de forma clara estas las trazas inducidas por el campo eléctrico del tubo con las observadas en condiciones de radiación natural, lo que añade valor a la experiencia por su carácter reproducible y controlado. Durante la actividad, el alumnado se hace preguntas como:

- ¿Qué diferencia hay entre las trazas observadas con el tubo de rayos catódicos y las trazas de la radiación natural?
- ¿Por qué son diferentes a las trazas que dejan los electrones de la radiación natural?
- ¿A qué se debe que al interponer algunos materiales, no se observen trazas? ¿Qué tipo de materiales impiden que el campo eléctrico alcance la cámara de niebla?
- ¿Podríamos usar un campo magnético para desviar estas partículas (por tanto, modificar sus trazas) y aprender más sobre su carga o masa?
- ¿Qué nos dice esta actividad sobre cómo funcionan los detectores reales de partículas?

Estas observaciones permiten introducir algunos conceptos relacionados con la energía, masa, y carga eléctrica de las partículas, así como la atenuación o el diseño de detectores. El uso del tubo de rayos catódicos no requiere modificar la cámara de niebla, solo la conexión a una fuente de alimentación adecuada y su correcta colocación para generar el campo eléctrico necesario. Esto facilita su uso en el aula, evitando restricciones asociadas al manejo de materiales radiactivos.

4. La propuesta en centros educativos y en la formación del profesorado

La utilización de una cámara de niebla como objeto didáctico para la enseñanza de la física de partículas ha sido implementada en diversos contextos educativos desde 2023, tanto la formación del profesorado como en la de alumnado de educación secundaria y bachillerato. Los resultados obtenidos evidencian, en líneas generales, un alto grado de aceptación, relevancia y aplicabilidad didáctica.

En el ámbito de la formación docente, se han desarrollado dos acciones formativas específicas en Aragón, con una participación total de 44 docentes. Paralelamente, la experiencia se ha llevado a cabo en siete centros educativos: seis ubicados en Zaragoza y alrededores, y uno en la provincia de Córdoba, alcanzando a más de 300 estudiantes (figura 13). Entre ellos, destaca el trabajo realizado en el IES Clara Campoamor, donde se diseñó y aplicó una secuencia didáctica que fue objeto de análisis desde una perspectiva de investigación educativa, con el fin de optimizar la actividad y evaluar su impacto en el aprendizaje del alumnado.

Asimismo, la propuesta ha contado con la participación de profesorado universitario y de estudiantes del Máster en Formación del Profesorado, especialidad de Física y Química, tanto de la Universidad de Zaragoza como de la Universidad de Córdoba.



Figura 13. Sesiones llevadas a cabo con estudiantes, profesorado y divulgación.

El profesorado participante considera posible incorporar esta propuesta como una actividad experimental accesible y coherente con el currículo, que permite abordar contenidos científicos desde una perspectiva contextualizada en la física de partículas.

Más allá del ámbito escolar, la iniciativa también ha tenido presencia en acciones de divulgación científica dirigidas al público general. Cabe destacar una actividad realizada en el medio rural, concretamente en Villanueva de Córdoba, en la que participaron más de 40 personas.

5. Conclusiones

La experiencia desarrollada con cámaras de niebla en la enseñanza de la física de partículas en secundaria y bachillerato ofrece una propuesta educativa viable para trabajar contenidos que no suelen ser trabajados en el aula a pesar de su vigencia y, a su vez, hacerlo desde lo experimental.

El estudio orientado a la optimización del diseño y funcionamiento de la cámara de niebla [6] ofrece al profesorado una base orientativa y accesible para construir su propio detector y llevar a cabo observaciones fiables en el aula [2]. Este trabajo permite reducir la incertidumbre técnica asociada al experimento, facilitando su implementación con recursos asequibles y condiciones controladas. La posibilidad de observar radiación natural y utilizar fuentes accesibles como la pechblenda permite introducir, de forma segura, la presencia constante de partículas ionizantes en nuestro entorno. Además, la incorporación del tubo de rayos catódicos aporta una herramienta experimental potente y reproducible, ideal para inducir y observar trazas en la cámara de niebla y analizar la influencia de distintos materiales en dichas trazas, sin necesidad de emplear fuentes radiactivas sujetas a regulación. Todo ello amplía las posibilidades del experimento y lo convierte en una opción viable y enriquecedora para el profesorado de ciencias.

La construcción de la cámara de niebla por parte del propio alumnado transforma un experimento tradicionalmente demostrativo en una actividad interdisciplinar plenamente alineada con el enfoque STEM. Una de las conclusiones educativas más relevantes de esta experiencia es la importancia de abordar este proceso de manera progresiva, acompañando al alumnado en el diseño y montaje de su propia cámara. Este enfoque no solo favorece la comprensión de los conceptos asociados a la física de partículas, sino que también permite integrar contenidos de física, tecnología e ingeniería de forma experimental.

La implementación en más de diez centros educativos y contextos formativos ha evidenciado el interés del alumnado y el compromiso del profesorado, tanto en formación inicial como continua. Este nivel de participación, junto al impacto positivo en el desarrollo de competencias científicas y la comprensión de contenidos abstractos, refuerza la necesidad de seguir promoviendo propuestas como esta, con el aprendizaje de la física como objetivo final.

Agradecimientos

Al grupo IDECEEx de la Universidad de Zaragoza, al proyecto Aulia (FCT-23-19348) financiado por la FECYT, y al programa de Becas RSEF-Fundación Ramón Areces (FRA) para visitar el CERN.

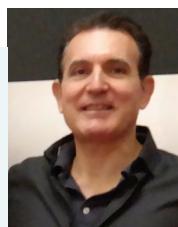
Referencias

- [1] A. RUIZ-JIMENO y M. A. SANCHIS, Divulgación en física de partículas: international masterclasses concurso CERN-Beamline y el international particle physics outreach group, *Brazilian Journal of Development* **8**, 21022 (2022).
- [2] J. POZUELO-MUÑOZ y C. RODRÍGUEZ-CASALS, *Más allá del átomo. Un acercamiento al Conocimiento Didáctico del Contenido y guía didáctica sobre una implementación experimental en el aula* (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Zaragoza, 2024).
- [3] F. BARRADAS-SOLAS y P. ALAMEDA-MELÉNDEZ, Bringing particle physics to life: build your own cloud chamber, *Science in School* **14**, 360 (2010).

- [4] A. F. ANDRADE, L. W. SOUZA, A. P. PERINI y L. P. NEVES, A thermoelectric cloud chamber: I. Redesign and operation, *European Journal of Physics* **45**(2), 025703 (2024).
- [5] M. GESKE, C. Murray-Weston y G. Lelack, Measuring atmospheric radon levels using a cloud chamber, *The Physics Teacher* **60**(6), 498 (2022).
- [6] J. POZUELO-MUÑOZ, L. RANZ-VILLARINO, E. CASCAROSA-SALILLAS y E. TERRADO-SIESO, Optimizing particle visualization in the classroom: design, construction, and evaluation of cloud chambers and their use with a cathode ray tube, *The Physics Teacher* **63**(9), 745 (2025).

La lente de Lubor: un recurso con mucha luz e ilusión

Fernando Ignacio Prada Pérez de Azpeitia
Grupo Especializado de Enseñanza
y Divulgación de la Física (RSEF)



Una lente de Lubor es un sistema óptico que puede aprovechar el docente para mostrar una visión lúdica y recreativa de la física de la luz. Un eficaz recurso para que los estudiantes de niveles preuniversitarios analicen y comprueben, en diferente grado de profundidad, propiedades fundamentales de la luz, a partir de ilusiones aparentemente inexplicables y de efectos ópticos sorprendentes [1].

1. Introducción

La lente denominada de Lubor consiste en una lámina plástica, plana, semitransparente y corrugada (con crestas y valles) utilizada en prestidigitación para crear ilusiones ópticas. Entre otras, hacer que objetos y personas se vuelvan aparentemente invisibles a nuestra vista. Este sistema óptico fue utilizado por el ingeniero químico y creador de efectos ilusionistas Lubor Fiedler (1933-2014) no con fines científicos, sino recreativos [2].

Las ilusiones y efectos ópticos que se muestran en el artículo son el resultado del mismo fenómeno físico, la refracción de la luz, originada por la rejilla de la lente de Lubor que produce una percepción distorsionada de la realidad. El formato más utilizado de la lente es el de una pequeña tarjeta ($8,5 \times 5,5$ cm), que se puede adquirir a precio muy asequible (entre 1-5 €) en plataformas de comercio electrónico (Amazon, AliExpress, etc.) y en tiendas de magia. Para aumentar la amplitud del campo de visión y apreciar mejor los efectos, se pueden combinar varias tarjetas sujetándolas entre dos láminas rígidas de plástico mediante pequeñas pinzas, o bien adquirir láminas de mayor superficie.

2. Láminas lenticulares

La lente de Lubor es una aplicación específica de las láminas lenticulares formadas por la combinación de microlentes cilíndricas de tipo plano-convexas, que presentan una su-

perficie curva (convexa) por un lado, y plana por el otro. La tecnología de impresión lenticular se ha venido utilizando desde mediados del siglo xx como una forma de arte cinético, en diferentes formatos: cromos coleccionables, postales recreativas, póster, carteles publicitarios, etc. Como, por ejemplo, en las clásicas tarjetas que al girarlas ofrecen la ilusión de transformación y movimiento entre dos imágenes. En este tipo concreto de diseño, el soporte contienen dos lados diferenciados: un lado liso, en el que se imprimen combinadas (entrelazadas) las dos imágenes divididas en franjas o tiras que se combinan en un solo gráfico, y otro lado rugoso, que contiene la lámina lenticular formada por cientos de pequeñas lentes alineadas de tal forma que la luz reflejada por cada franja se refracta en diferentes direcciones. Así, al cambiar el ángulo de visión, moviendo la lámina de un lado a otro, las lenticulas dirigen dos imágenes diferentes a los ojos del espectador, creando la ilusión de transformación, como la de la figura 1, en que una bombilla apagada parece que se enciende.

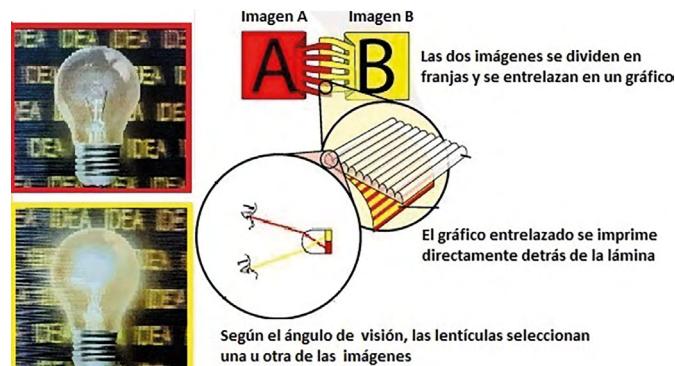


Figura 1. Efecto de trasformación de una bombilla (apagada-encendida) en una postal recreativa.

De forma semejante, las lentes de Lubor también llevan impresas filas paralelas de microlentes plano-convexas (lenticulas), formando una rejilla lenticular. La frecuencia espacial entre filas (resolución) de la lente que se ha utilizado es de 75 lpi (líneas por pulgada), o tres líneas lenticulares por milímetro, alineadas formando un retículo vertical, como se aprecia en la figura 2.

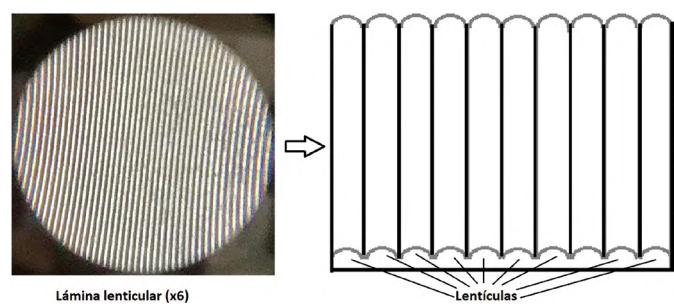


Figura 2. Lente de Lubor: fotografía del retículo aumentada ($\times 6$) y esquema de las lenticulas.

Un fenómeno óptico curioso se produce al sobreponer dos lentes de Lubor, el efecto muaré, que aparece al superponer dos rejillas de líneas o patrones regulares, originando un patrón de interferencias que causa la distorsión de la luz, formándose líneas, formas y colores no siempre deseados. Cambiando la posición y orientación de las lentes, se apre-