

# La cámara de niebla: Partículas de verdad



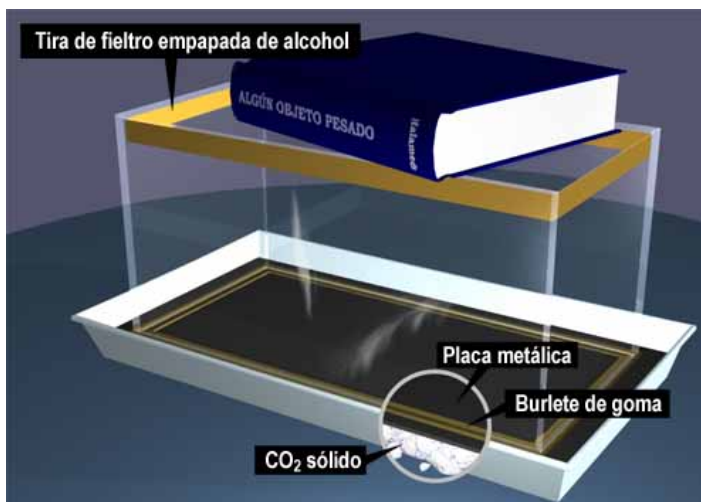
Premio en la modalidad de Experimentos del I Concurso de Divulgación Científica del CPAN (Centro Nacional de Física de Partículas, Astropartículas y Nuclear, Consolider 2010)



Fundación General CSIC

A mucha gente le da la impresión de que esas partículas de las que oímos hablar en los medios o en la escuela son menos reales que los coches o las piedras y no es así, al menos cuando se trata de los electrones, protones, muones, fotones... que los físicos y otros científicos y técnicos detectan cada día y cuyas energías y momentos miden.

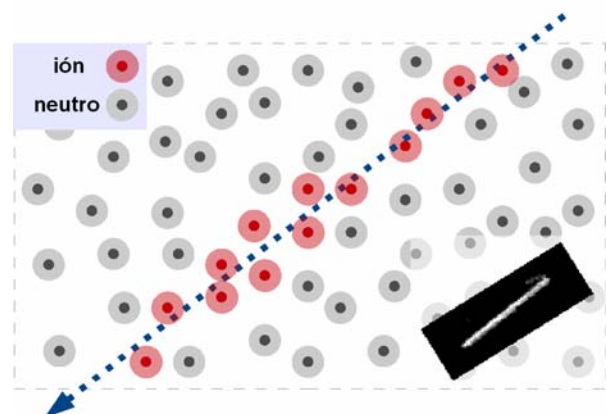
Quizá la mejor forma de convencerse sea construir a partir de materiales simples un detector en el que vemos con nuestros propios ojos las estelas que dejan las partículas cargadas a su paso, la *cámara de niebla de difusión continuamente sensible*.



En esencia se trata de una caja herméticamente cerrada en cuyo interior hay una mezcla de vapor de alcohol y aire. El fondo de la cámara se mantiene tan frío (por contacto con  $\text{CO}_2$  sólido, “hielo seco”) que hay una capa con vapor por debajo de su temperatura de condensación, en un estado inestable en el que sólo hace falta una perturbación para que se empiecen a formar gotas de alcohol líquido.

El paso de partículas cargadas de suficiente energía que atraviesan la cámara (por ejemplo muones de los rayos cósmicos secundarios) da lugar a iones que actúan como núcleos de condensación sobre los que crecen las gotas de alcohol, formándose así estelas de niebla muy similares a las de los aviones a lo largo de las trayectorias de las partículas.

Esta experiencia se dirige tanto al público general como al escolar a partir de la Enseñanza Secundaria Obligatoria y se ha empleado con éxito en actividades de divulgación tales como ferias y jornadas científicas, así como en la enseñanza de la física en el Instituto.



A continuación se describe con más detalle cómo construir y hacer funcionar la cámara. Muchos de los consejos están basados en la práctica (cámaras que hemos construido y han funcionado) y en la tradición (lo hicimos así porque así la habían hecho otros antes). Para quien quiera ir más allá se ofrecen al final referencias bibliográficas

## MONTAJE DE LA CÁMARA

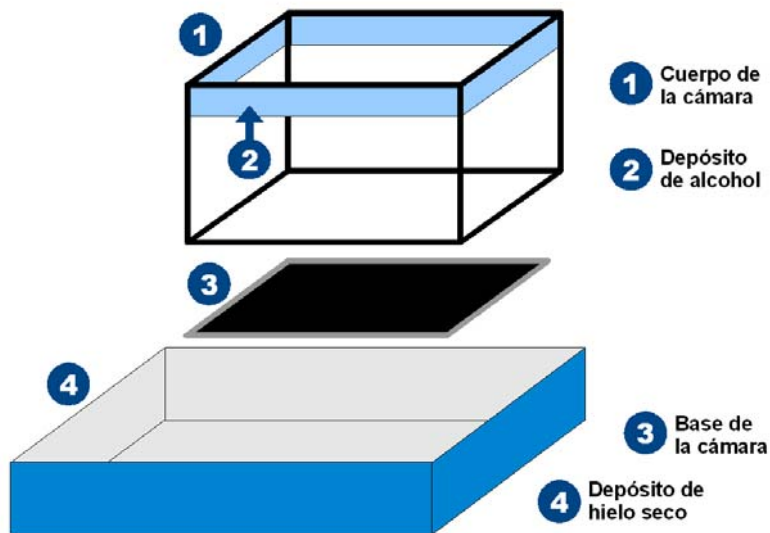


Figura 1. Esquema de la cámara

**1.** Como base o cuerpo de la cámara se puede usar una pecera de plástico o vidrio (siempre que las juntas sean estancas. Unas dimensiones aproximadas que vienen bien son 20 cm x 15 cm de ancho y, más importante, entre 15 y 20 cm de alto (aunque hemos hecho cámaras de hasta 23 cm que han funcionado muy bien).

**2.** Para que en el interior de la cámara haya vapor de alcohol utilizamos unas tiras de fieltro o similar de unos pocos cm de ancho pegadas a lo largo del interior de la cámara como indica la figura superior. Estas tiras se empaparán luego en isopropanol (así que cuidado con la elección del pegamento...)

**3.** Para cerrar la cámara se emplea una chapa lisa de aluminio de las mismas dimensiones que la base de la pecera (o lo que sea). La cara que da al interior de la cámara se debe cubrir de cinta aislante de color negro mate para aumentar la visibilidad de las trazas.

Es muy importante que el cierre de la cámara sea hermético. Normalmente basta sellarla con cinta aislante o cinta americana alrededor del perímetro de la chapa de modo que esté bien adherida, tanto a las paredes laterales de vidrio como a la cara

exterior de la chapa. Para esto es importante que la chapa se ajuste a la base de la pecera tanto como sea posible. Hay que elegir bien la cinta teniendo en cuenta que el frío y la humedad condensada pueden afectarla (Figura 2).

En algún caso (por ejemplo si la chapa es algo mayor que la base de la pecera) podría convenir colocar a lo largo del perímetro de la cara interna de la chapa una tira de burlete de goma con un perfil similar al de la figura y luego cerrar con cinta la cámara. Si la cámara es pequeña, podrían bastar el burlete y un peso encima.

Se podría unir el cuerpo de la cámara con su base no sólo a lo largo del perímetro de la chapa, sino también hacia arriba, o al menos colocar algún peso sobre la parte superior de la cámara, pero en la mayor parte de los casos todo esto será innecesario.

**4.** El depósito es simplemente un contenedor para el hielo seco sobre el que se va a colocar la cámara. Una buena opción es el poliestireno expandido (conocido como "corcho blanco" o también "porexpan", e incluso "poliexpán"), ya que es un buen

aislante térmico.

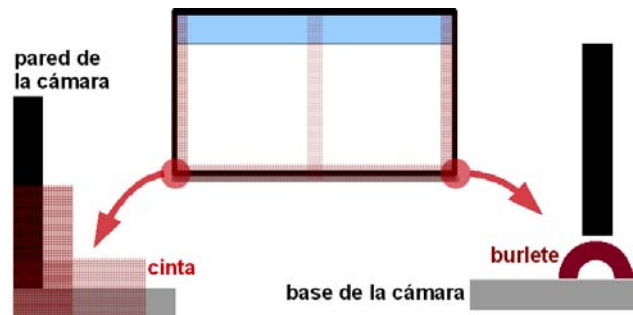


Figura 2. Cierre de la cámara

## FUNCIONAMIENTO

La clave está en establecer y mantener un gradiente de temperatura suficientemente pronunciado entre el fondo y la superficie superior de la cámara. El gradiente garantizará la difusión de vapor desde la superficie más caliente (superior) a la más fría (inferior) a través de un gas inerte (aire en este caso). Finalmente, el resultado será la po-

sibilidad de obtener una capa cercana al fondo de vapor sobresaturado (Fig. 3).

Las temperaturas deben ser tales que en esa *capa sensible* se pueda producir condensación sobre los iones que forman al atravesarla las partículas cargadas de energía suficiente. Este es un procedimiento para lograrlo:

Tras haber empapado generosamente de isopropanol el fieltro (con una jeringa, por ejemplo), se cierra la cámara de forma estanca tal como se ha indicado y se coloca sobre el hielo seco.

Para conseguir un gradiente de temperatura apropiado, la chapa metálica plana que forma la base de la cámara debe estar horizontal y en muy buen contacto térmico con el hielo seco. Esa sustancia se encontrará a su temperatura de sublimación a presión atmosférica (unos  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), por lo que hay que usarlo pulverizado o en forma de placas o fragmentos pequeños, como granos de arroz. Si se emplean otras presentaciones típicas (como los cilindros del orden de un centímetro de diámetro y varios de altura) es posible que la temperatura de la base no sea suficientemente baja. En este caso se puede machacar el hielo seco hasta reducirlo a un tamaño adecuado, por ejemplo metiéndolo poco a poco en una bolsa resistente y golpeándolo con un martillo o similar.

Por el contrario, la parte superior de la cámara, donde está depósito con el alcohol líquido (un fieltro empapado en nuestro caso) se debe mantener caliente para tener un buen ritmo de evaporación, por lo que se debe evitar utilizar la cámara en ambientes fríos. Si es necesario se puede calentar con una lámpara halógena, por ejemplo.

Tras dejar la cámara así montada durante unos minutos (del orden de diez, pero a veces mucho menos), se deberían empezar a ver trazas en la región sensible, cerca del fondo de la cámara, si la iluminación es la apropiada. Puede emplearse una lámpara halógena de escritorio dirigida hacia el fondo con un ángulo pequeño o también un proyector de diapositivas. Si todo funciona bien, y para estas dimensiones, habría que esperar del orden de una traza por segundo en algún lugar de la cámara.

Algunas personas pueden tener cierta dificultad en ver las trazas porque "no saben cómo mirar". Puede ser una buena idea aconsejarles que se fijen en una área concreta del fondo de la cámara -sin andar buscando trazas por todas partes- hasta que perciban una fina lluvia de gotitas de alcohol que se han evaporado en la parte alta de la cámara y luego condensado. Eso no es lo que se busca, pero una vez que se ve, es más fácil observar sobre ese

fondo unas condensaciones con forma de hilillo que aparecen de repente y se deshacen rápidamente; las trazas.

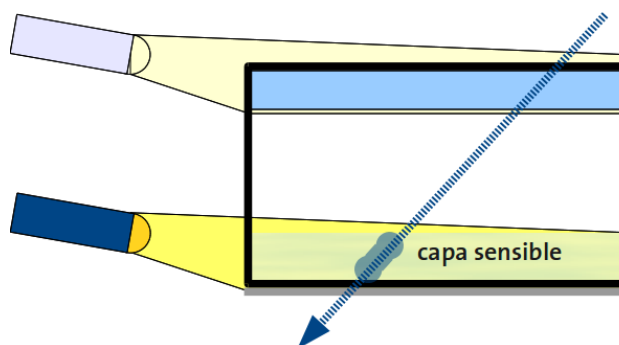


Figura 3. Cómo iluminar la cámara

### ¿Y SI NO SE VE NADA?

Habrá que comprobar que ha pasado el tiempo suficiente (no más de un cuarto de hora), que la cámara es estanca y su fondo está bien iluminado, que la parte superior no está muy fría (¿hay que calentarla?) pero el fondo sí (para que esto suceda, recordemos que el contacto térmico entre el hielo seco y la chapa ha de ser bueno).

Si aún así no funciona y sólo se ve una niebla muy densa de gotitas de alcohol, se puede probar a abrir la cámara, dejar salir algo de la niebla y volver a cerrarla. También conviene que la cámara esté horizontal y libre de perturbaciones. Y si aún eso falla, habrá que pensar en hacer la cámara algo más alta o algo más baja; la altura es un parámetro importante (véase la bibliografía que cito más abajo) pero no es fácil ser más preciso, ya que habría que considerarlo junto con otros factores que dependen unos de otros de forma compleja como la distribución de temperaturas, la concentración de alcohol...

### Y SI SE VE ALGO... ¿QUÉ ES?

Cualquier partícula cargada de suficiente energía puede dejar su rastro en la cámara, pero con esta configuración lo más probable es que se trate de muones de los rayos cósmicos secundarios<sup>1</sup>. También será posible ver alguna traza de partículas de la radiactividad ambiental, por ejemplo electrones.

<sup>1</sup> Ver, por ejemplo, la sección de la edición de 2010 de la *Review of Particle Physics* dedicada a los rayos cósmicos: *Cosmic Rays*, de T.K. Gaisser y T. Stanev [ cita: K. Nakamura et al., *J Phys G* 37, 075021 (2010), disponible en <http://pdg.lbl.gov>]

Una de las mejores cosas que nos puede pasar es ver una traza que súbitamente cambia de dirección (fig. 4, izquierda). Eso no es posible sin que haya sucedido algo (¡el momento lineal se conserva!) y una de las posibilidades es que un muón se haya desintegrado dentro de nuestro detector en dos neutrinos -indetectables- y un electrón.

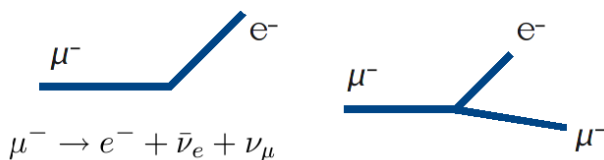


Figura 4. Dos posibilidades

Tampoco está mal del todo una traza que en un punto se bifurca (fig. 4, derecha), ya que eso podría suponer la colisión de un muón con un electrón atómico que resulta expulsado del átomo.

Una traza con múltiples cambios de dirección podría corresponder a una partícula de baja energía (como un electrón de la radiactividad beta ambiental...) teniendo múltiples colisiones atómicas en la cámara.

## NOTAS

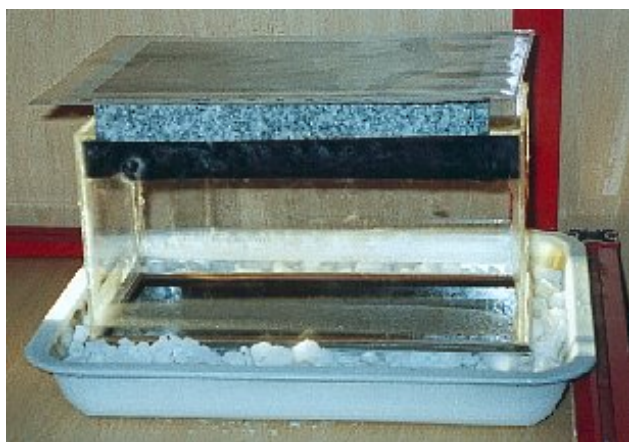


Figura 5. La cámara en funcionamiento

¿Por qué esas dimensiones?  
(sobre todo la altura)

Como se dijo antes, la gente lo aconseja así y así lo hemos probado con éxito. Eso no quiere decir que sean las únicas medidas posibles, pero en principio la altura de la cámara influye sobre el gradiente de temperatura y la evolución del alcohol que se evapora (ver bibliografía), así que hay que estar preparados para que no todas funcionen igual de bien. De hecho, hay informes según los que si el

depósito de alcohol está muy alto no se obtienen trazas. Teniendo en cuenta todos los factores a la vez, el problema es, como dicen los físicos, bastante "no trivial", para mí al menos...

¿Por qué isopropanol y no alcohol normal?

Es fácil deducir el motivo de usar un alcohol como etanol, metanol o isopropanol. Son líquidos de baja presión de vapor (que se evaporan con facilidad) y baja energía de ionización (lo que facilita que se formen núcleos de condensación para las estelas). Además, no se congelan en contacto con la base fría de la cámara, lo que, para empezar, fastidiaría la visibilidad de las trazas.

Según algunas fuentes (ver *MÁS INFORMACIÓN*), lo mejor es usar etanol bastante puro "por sus bajas tensión superficial y relación presión de vapor/presión de saturación", cuyos valores son algo peores para el metanol y el isopropanol (que, sin embargo, otros prefieren...) aunque estos se recomiendan a falta del primero ¡Como si fuera más difícil conseguir etanol más o menos puro...! En resumen, no hay acuerdo en la bibliografía consultada.

¿Y si se coloca una fuente radiactiva en la cámara? ¿Y un imán potente?

Esta es, desde luego, una variante extraordinariamente interesante cuya mayor dificultad estriba en obtener un material adecuado (seguro y suficientemente activo). Merece la pena probar con granito.

Respecto a la posibilidad de observar la curvatura de la trayectoria de una partícula en el campo magnético de un imán (potente, de los que solemos llamar *de neodimio*), es un buen ejercicio, especialmente si viene precedido de un estudio teórico cualitativo de lo que cabe esperar<sup>2</sup>.

## SOBRE LOS MATERIALES

En muchas ciudades grandes es fácil y no muy caro comprar hielo seco en los polígonos industriales, donde se encuentran proveedores de *Air Liquide*, *Carburos Metálicos*, etc. Además, hay empresas (como *BDP Frío*<sup>3</sup>) que lo sirven, por

<sup>2</sup>A partir de 2º de Bachillerato es posible con la ayuda del profesor. Para los rayos cósmicos habrá que emplear los datos de la nota 1, por ejemplo.

<sup>3</sup>[http://www.partygaz.com/index.php?option=com\\_k2&view=item&layout=item&id=46&Itemid=136&lang=es](http://www.partygaz.com/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=46&Itemid=136&lang=es)

bastante más dinero, a cualquier lugar. Con unos cuantos kilos podemos hacer una sesión de varias horas. Hay que tener precaución con el hielo seco (CO<sub>2</sub> sólido) a causa de su baja temperatura, de modo que no está de más utilizar gafas y guantes y protectores.

El alcohol de cualquiera de los tipos mencionados es más fácil de conseguir (en droguerías especializadas, como *Riesgo* en Madrid o distribuidores de productos químicos para la enseñanza o la investigación). Sus vapores son nocivos, de modo que la cámara debe montarse y usarse en lugares bien ventilados.

La chapa de aluminio se puede conseguir, a menudo gratis, en talleres dedicados a cerramientos metálicos domésticos e industriales y cortarla no requiere sino herramientas de uso común. Sobre el resto de los materiales, poco hay que decir.

#### Estimación del coste de este modelo de cámara de niebla

El cuerpo de la cámara, una pecera de vidrio de 10 a 15 litros, se puede conseguir en hipermercados y tiendas de animales por no más de 20 €.

Un litro de isopropanol *químicamente puro* supone unos 20 €, pero por 5 € se encuentra la versión *comercial*, que también puede servir. Con esta cantidad se pueden montar una cámara de niebla decenas de veces.

El hielo seco -basta un par de kilos para una cámara- se puede intentar conseguir gratis en algunos laboratorios de investigación o de hospitales, donde se emplea, por ejemplo, para la conservación de muestras. Si, como es el caso más frecuente, hay que adquirirlo, su coste dependerá de si lo podemos encontrar en un distribuidor local o no. En el primer caso pagaremos del orden de 40 € por diez kilos (cantidad mínima que sirven en muchos de estos establecimientos y que podemos compartir, igual que el alcohol, con otros compañeros que vayan a hacer una cámara simultáneamente o que podemos conservar uno o dos días para emplearlos en varias sesiones). Por otro lado, si tenemos que encargarlo y pagar el transporte, el importe variará entre, aproximadamente, 40 € y 100 € según la cantidad (desde 2,5 a 10 kg), la distancia (a veces se paga una sobretasa en ciertas zonas como las islas) y la hora de entrega.

El resto de los elementos menores (pegamento, retales de fieltro o moqueta, cinta, etc.) podrían no incluirse en el presupuesto, ya que en la mayoría de los casos dispondremos de ellos. De todos

modos, no superarán los 10 – 20 € en el peor de los casos y nos servirán para muchas veces.

En resumen, se puede construir una cámara de niebla casera por menos de 100 € (menos de la mitad en un caso *favorable*), habiendo que considerar que algunos gastos (hielo seco, isopropanol, etc.) se pueden compartir o sirven para varias sesiones de cámara de niebla, incluso en dos días. Sólo en las peores circunstancias cabe esperar un gasto que ronde los 150 €.

*Finalmente, téngase en cuenta que la cámara de niebla aquí descrita es un instrumento muy fácil de construir, poco delicado de operar y con enormes posibilidades didácticas y de divulgación.*

*Este instrumento no debería quedar en un espectáculo curioso sino que, por ejemplo, podría emplearse como puerta de entrada a la física nuclear y de partículas.*

## MÁS INFORMACIÓN

Hay que mencionar la página de Andrew Foland,

<http://www.ins.cornell.edu/~adf4/cloud.html>

donde muchos hemos aprendido a construir cámaras de niebla caseras. Para profundizar hay que recurrir a los clásicos, que estudiaron este instrumento cuando aún se utilizaba en investigación (nuestro modelo, la “cámara de niebla de difusión continuamente sensible” lo inventó hacia 1936 Alexander Langsdorf). Para empezar,

- “Continuously Sensitive Diffusion Cloud Chambers” E. W. Cowan, *Rev. Sci. Instrum.* **21**, 991 (1950)

En español tenemos poca cosa, por ejemplo:

- “Cámara de niebla de gradiente de temperatura” J. Andrade et al., *Revista Mexicana de Física*, **39**, 610 (1993)

Más referencias bibliográficas e información sobre las posibilidades didácticas de la cámara de niebla, incluyendo enlaces a un vídeo casero y un cómic destinado a alumnos de secundaria pueden verse en la *web* del autor:

[http://palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/niebla\\_casera.html](http://palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/niebla_casera.html)

**Francisco Barradas-Solas**  
Centro de Intercambios Escolares, Madrid