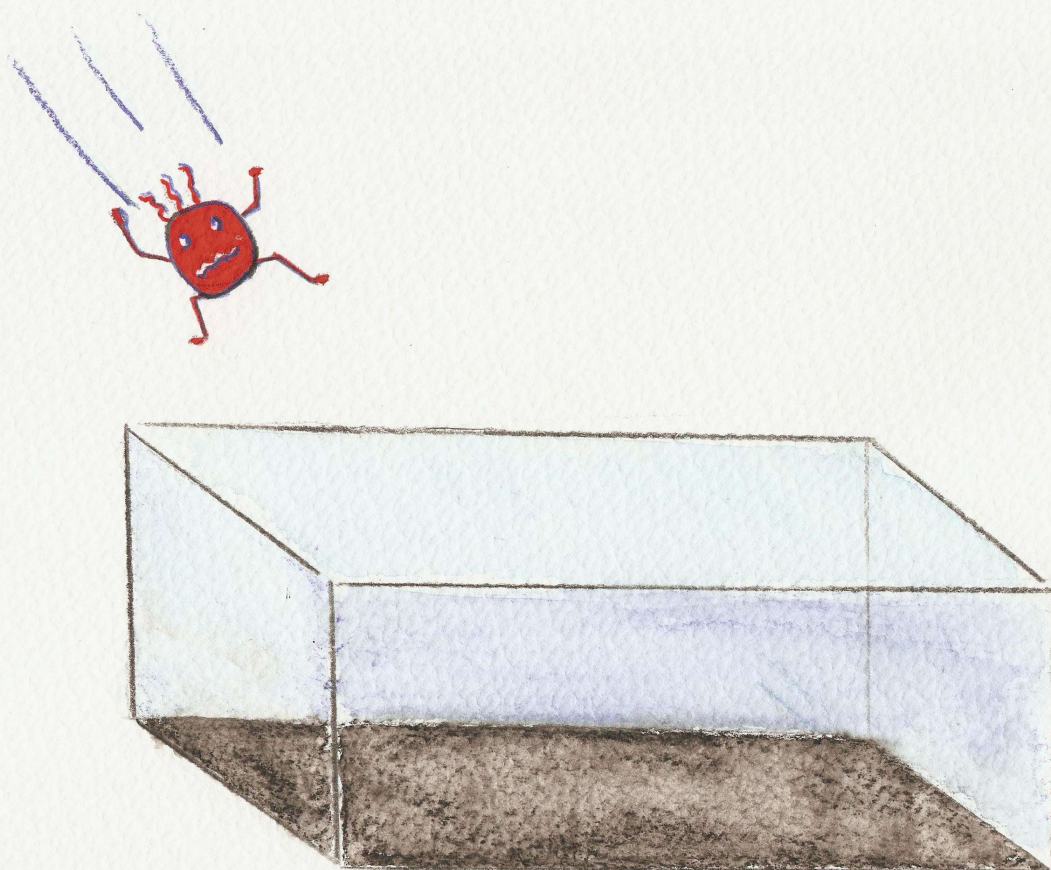


La cámara de niebla



Manual de uso y construcción y cómic divulgativo

Francisco Barradas Solas y Paloma Alameda Meléndez

La cámara de niebla

Manual de uso y construcción y cómic divulgativo

Francisco Barradas Solas y Paloma Alameda Meléndez

Introducción

La Física de partículas elementales, cuyo objetivo es descubrir las piezas básicas de las que todo está construido y las leyes que estas obedecen, es una parte fundamental de la ciencia y sin embargo recibe a menudo menos y peor atención de la que merece, tanto en la escuela y como entre el público general.

Uno de los principales problemas en ambos casos es que “lo que sea que estudien los físicos de partículas” es generalmente percibido como poco menos que un invento de mentes calenturientas, sin ninguna relación con la realidad de los objetos naturales y artificiales con los que nos relacionamos. Y sin embargo, los físicos de partículas –pero no sólo ellos sino también los que se dedican a la medicina en los escáneres PET, por ejemplo– detectan cada día de forma rutinaria electrones, fotones, muones... con la misma confianza con la que todos “detectamos” vacas, mesas o aviones.

Para contribuir a superar esta situación hemos venido utilizando desde hace años cámaras de niebla no sólo en la escuela, sino en semanas culturales, actos de divulgación científica, museos de la ciencia, etc.

La versión casera de la cámara de niebla no es más que una pecera herméticamente cerrada, llena de aire y vapor de alcohol y cuyo fondo está muy frío, pero que permite detectar partículas cargadas de suficiente energía, particularmente los muones de los rayos cósmicos. Si la observación de trazas de partículas en la cámara de niebla se presenta de forma adecuada se avanza mucho en el camino de convencerse de que “las partículas existen”.

Este folleto está compuesto por dos partes claramente diferenciadas; un manual a partir del que cualquiera puede construir una cámara de niebla casera a partir de materiales fácilmente accesibles (al menos en muchos sitios) y un cómic que presenta con la máxima sencillez el funcionamiento de la cámara y lo que en ella se ve.

La construcción de la cámara a partir de una pecera de vidrio o plástico, una chapa de aluminio, fieltro, cinta, hielo seco y alcohol se describe paso a paso,

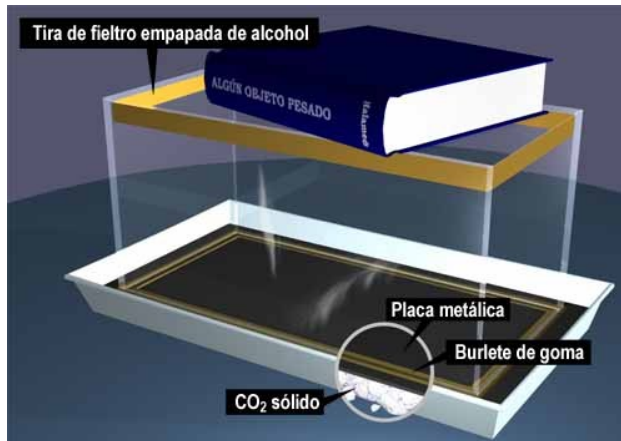
dando todas las pistas necesarias para ponerla en marcha y observar las trazas. Se proporciona también una explicación básica del modo de funcionamiento (la física del detector) y las suficientes referencias bibliográficas como para ampliarla.

Sin embargo, para que la observación en la cámara sea útil de verdad hace falta un material complementario que permita apoyar la explicación. Ese material se presenta en este caso en forma de un cómic (aunque también se ha empleado en forma de póster) que en lenguaje sencillo y dirigido al espectro de edades más amplio posible muestra el funcionamiento de la cámara y el origen y composición de los rayos cósmicos y otras partículas que se detectan en ella.

Francisco Barradas Solas y Paloma Alameda Meléndez
Madrid, junio de 2009

La cámara de niebla:

Partículas de verdad



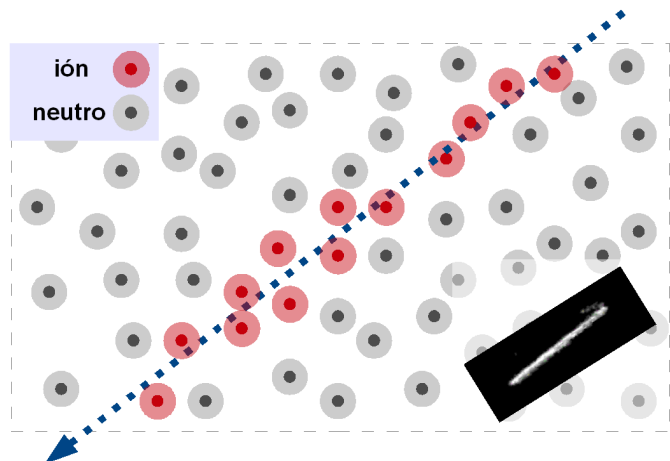
A mucha gente le da la impresión de que esas partículas de las que oímos hablar en los medios o en la escuela son menos reales que los coches o las piedras y no es así, al menos cuando se trata de los electrones, protones, muones, fotones... que los físicos detectan cada día y cuyas energías y momentos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

Este detector, llamado *cámara de niebla*, es 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 CO₂ 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 empiecen a formarse gotas de alcohol líquido.

El paso de partículas cargadas de suficiente energía que atraviesan la cámara (muones de los rayos cósmicos secundarios, por ejemplo) da lugar a iones que actúan como núcleos de condensación sobre los que crecen las gotas de alcohol.

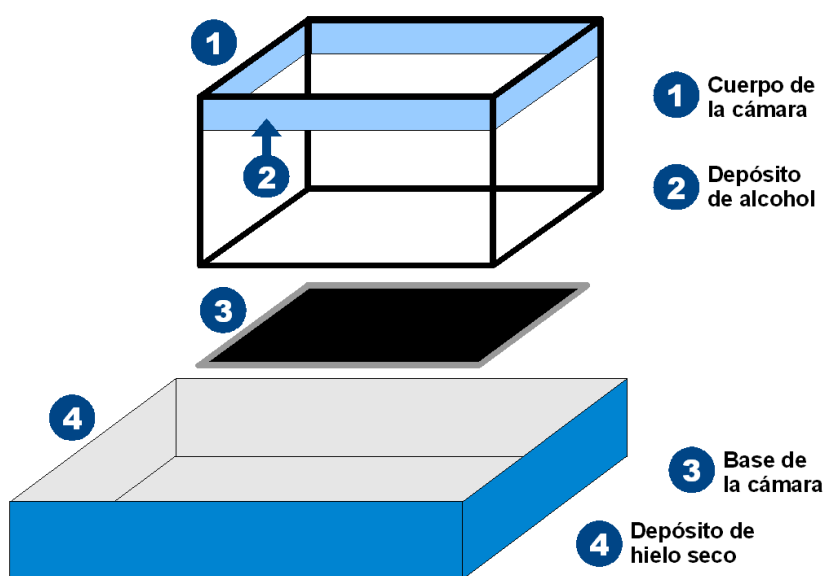
Así se forman estelas de niebla (de alcohol), muy parecidas a las de los aviones, a lo largo de las trayectorias de las partículas.



DETALLES

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...) pero si se quiere profundizar y sistematizar, al final se proporcionan las referencias clásicas de las que partir.

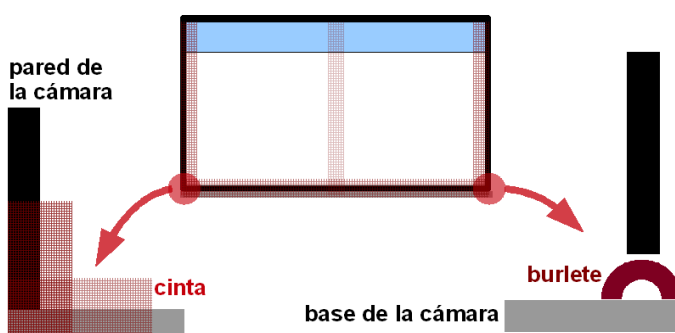
MONTAJE DE LA CÁMARA



1. Como base 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 (pero 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. Estas tiras se empaparán luego en isopropanol (así que cuidado con la elección del pegamento...).



3. Para cerrar la cámara se emplea una chapa 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 y 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.

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.

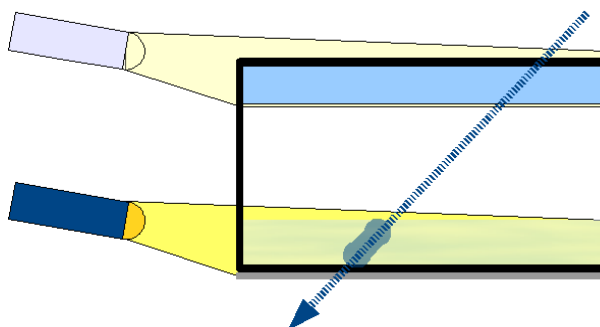
Se podría unir no sólo el cuerpo de la cámara con su base no sólo a lo largo del perímetro de la chapa, sino también hacia arriba, o al menos colocar algún peso sobre la parte superior de la cámara, pero en la mayor parte de los casos todo esto es innecesario.

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

FUNCIONAMIENTO

Si se mantiene un gradiente de temperatura suficientemente pronunciado entre el fondo y la superficie superior de la cámara a la vez que se garantiza la difusión de vapor desde la superficie más caliente a la más fría a través de un gas inerte (que aquí es aire), será posible obtener una capa, próxima al fondo en nuestro caso, de vapor sobresaturado. Las temperaturas deben ser tales que en esa *capa sensible* se pueda producir condensación sobre los iones que forman al pasar las partículas cargadas de energía suficiente. Este es un procedimiento para conseguirlo:

Tras haber empapado de isopropanol el fieltro (con una jeringa, por ejemplo, y generosamente), 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 que forma la base de la cámara debe ser horizontal y estar en muy buen contacto térmico con el hielo seco (que estará 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 y 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 dirigidas hacia el fondo con un ángulo pequeño o también un proyector de diapositivas. Si todo funciona bien y con estas dimensiones, habría que esperar del orden de una traza por segundo en algún lugar de la cámara.

Hay gente (poca) que tiene 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 y luego condensado en la parte alta de la cámara; eso no es lo que buscamos, pero una vez que lo tienen, observar sobre ese fondo unas condensaciones con forma de hilillo que aparecen de repente y se deshacen rápidamente.

¿Y SI NO SE VE NADA?

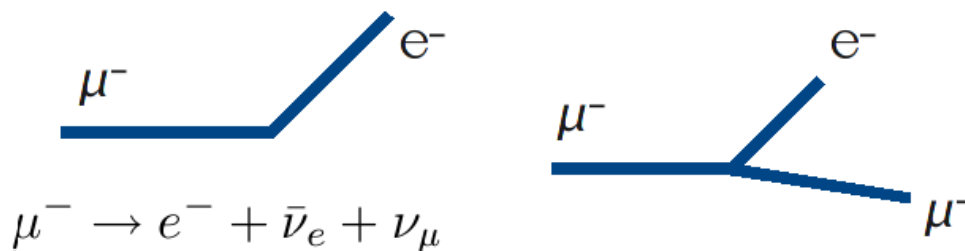
Habría que comprobar que han pasado el tiempo suficiente (no más de un cuarto de hora), que la cámara es estanca y su fondo está bien iluminado, que la parte superior no está muy fría (¿hay que calentarla?) pero el fondo sí (para que esto suceda, recordemos que el contacto térmico entre el hielo seco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

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. También será posible ver alguna traza de partículas de la radiactividad ambiental, por ejemplo electrones.

Una de las mejores cosas que nos puede pasar es ver una traza que súbitamente cambia de dirección. 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 en un electrón y dos neutrinos dentro de nuestro detector.



Tampoco está mal del todo una traza que en un punto se bifurca, ya que eso podría suponer la colisión de un muón con un electrón atómico que de este modo es arrancado (figura de la derecha).

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

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

Ya lo he dicho antes; la gente lo aconseja así y así lo hemos probado con éxito. Eso no quiere decir que sean las únicas 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 cualquiera funcione igual de bien y de hecho hay informes de gente que dice que si el depósito de alcohol está muy alto, la cosa no marcha. Si tenemos en cuenta todos los factores a la vez, el problema es, como dicen los físicos, “no trivial” (por lo menos para nosotros)...

¿Por qué isopropanol y no alcohol *normal*?

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

Por ahí (¿y la referencia?) se puede leer que lo mejor es usar etanol bastante puro “por su baja tensión superficial y su baja relación presión de vapor / presión de saturación” y que estas cifras son algo peores para el metanol y el isopropanol (que sin embargo otros recomiendan...) pero que estos se pueden usar a falta del primero ¡como si fuera más difícil conseguir etanol más o menos puro...!

NOTA SOBRE LOS MATERIALES

En muchas ciudades grandes es fácil comprar hielo seco, que no resulta muy caro, en los polígonos industriales donde se encuentran proveedores de *Air Liquide*, *Carburos Metálicos*, etc. Además, es posible encontrar empresas (como *BDP Frío*) que lo sirven, bastante más caro, en muchas otras ciudades. Con unos cuantos kilos podemos hacer una sesión de varias horas. Otra posibilidad es pedir un poco en un laboratorio universitario o de un hospital. Hay que tener algo de precaución con el hielo seco (CO_2 sólido) a causa de su baja temperatura.

El alcohol (de cualquiera de los tipos mencionados) es barato y bastante más fácil de conseguir. Sobre el resto de los materiales no hay nada que decir.

¿QUÉ HACEMOS CON LA CÁMARA?

No está de más insistir en que la finalidad principal de esta cámara tanto en la enseñanza (especialmente secundaria y primeros años de Universidad) como en la divulgación al público general es transmitir la sensación y el convencimiento de que las partículas de las que nos hablan en los medios y en la escuela se pueden detectar y se detectan; en definitiva que son *reales* (o al menos *tan reales como los objetos cotidianos...*)

Para ir más allá en la enseñanza de la física, véase por ejemplo:

[Viaje al corazón de la materia: Física de partículas en el Instituto.](#)

y más concretamente

<http://palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/aula/aula1.html>

BIBLIOGRAFÍA

En primer lugar hay que mencionar a la página de Andrew Foland,

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

que es donde muchos hemos aprendido a construir cámaras de niebla caseras, pero si se quiere 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 Alexander Langsdorf hacia 1936):

- “On the Operation of the Diffusion Cloud Chamber”
C. Succi; G. Tagliaferri, *Nuovo Cimento*, **9**, 1092 (1953)
- “A Theory of Diffusion Cloud Chambers”
R. P. Shutt, *Rev. Sci. Instrum.* **22**, 730 (1951)
- “Continuously Sensitive Diffusion Cloud Chambers”
E. W. Cowan, *Rev. Sci. Instrum.* **21**, 991 (1950)
- “On Diffusion Cloud Chambers”
H. Slätis, *Nuclear Instr.* **1**, 213 (1957)
- “A Continuously Sensitive Cloud Chamber”
T. S. Needels; C. E. Nielsen, *Rev. Sci. Instrum.* **21**, 976 (1950)

En español tenemos poca cosa, por ejemplo:

- “Cámara de niebla de gradiente de temperatura”
J. Andrade; R. Martínez; C. Vargas, *Revista Mexicana de Física*, **39**, 610 (1993)
disponible aquí: rmf.fciencias.unam.mx/pdf/rmf/39/4/39_4_610.pdf

Y para los rayos cósmicos, todavía en español, se puede echar un vistazo al artículo publicado por F. Arqueros en la revista “A Distancia” de la UNED, primavera 1994 (disponible aquí: <http://www.gae.ucm.es/fisica/report.html> y sólo algo anticuado en su segunda parte, dedicada a las técnicas de observación). También, más sencillo, esta página de Windows to the Universe (University Corporation for Atmospheric Research, de la Universidad de Michigan):

http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/physical_science/physics/atom_particle/cosmic_rays.sp.html&edu=mid

Siguiendo con los rayos cósmicos, Para hacer unos números sobre lo que se puede ver –o no– y si merece la pena poner un imán potente en la cámara... un buen sitio es el la sección de rayos cósmicos de la *2008 Review of Particle Physics* [C. Amsler et al., *Physics Letters B* 667, 1 (2008)], disponible aquí:

http://pdg.lbl.gov/2008/reviews/contents_sports.html

Enlace a más información y versiones actualizadas en la web

[*Viaje al corazón de la materia: Física de partículas en el Instituto.*](#)

y más concretamente en

<http://palmera.pntic.mec.es/~fbarrada/aula/aula1a1.html>

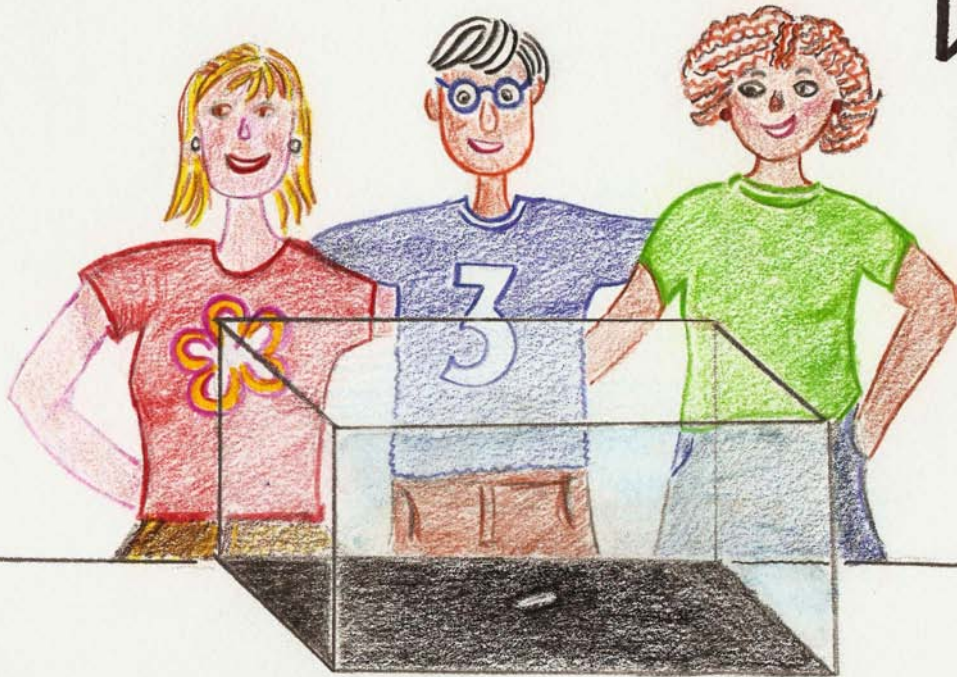
Francisco Barradas Solas, junio de 2009

Cómic divulgativo

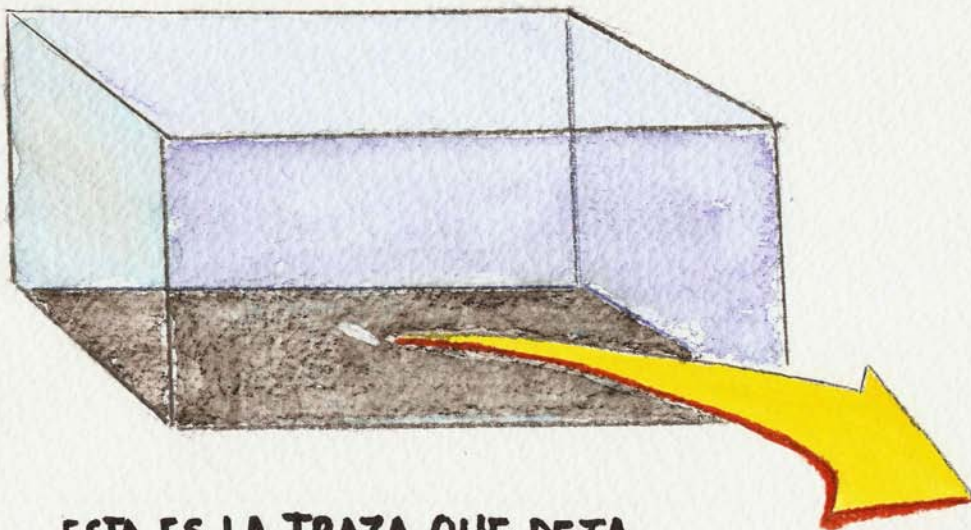
La cámara de niebla y los rayos cósmicos

Dibujos de Paloma Alameda Meléndez

LA CÁMARA DE NIEBLA



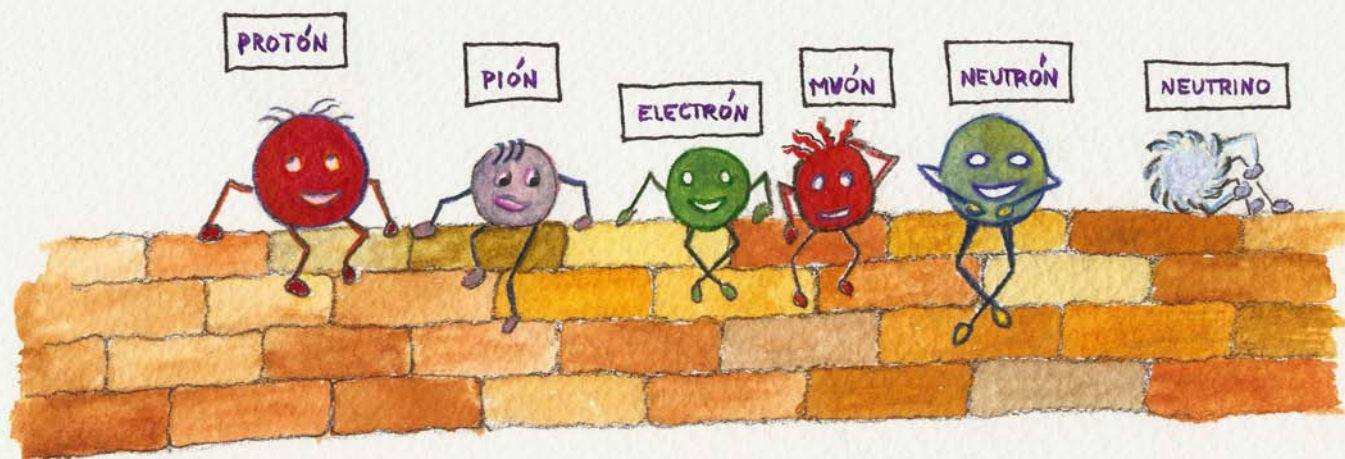
¡ MIRA , UN RAYO CÓSMICO !



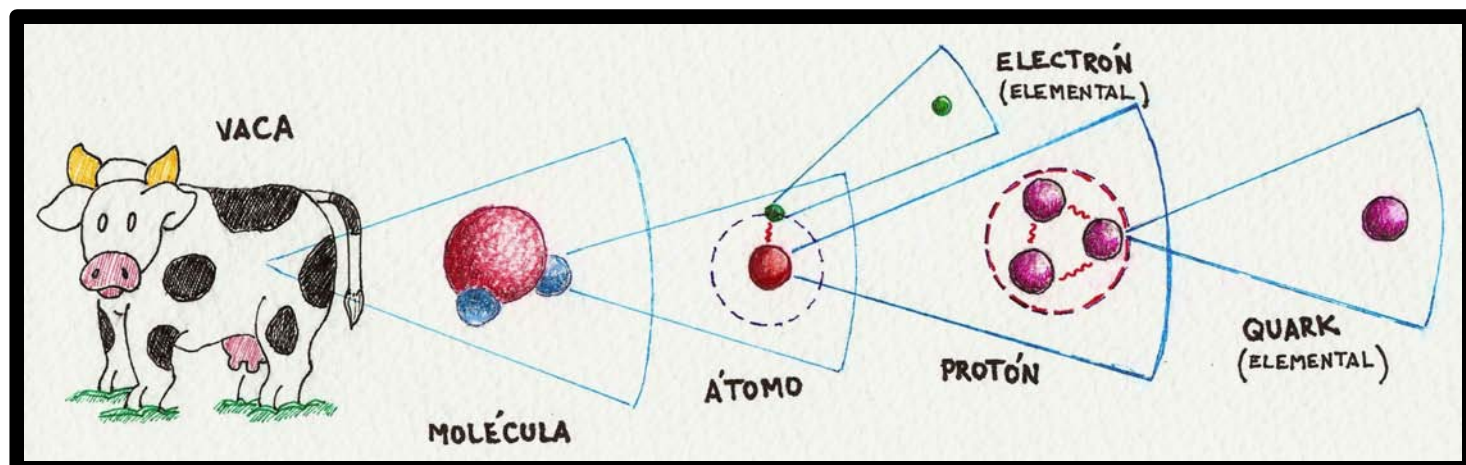
ESTA ES LA TRAZA QUE DEJA
UN RAYO CÓSMICO AL PASAR
POR LA CÁMARA DE NIEBLA



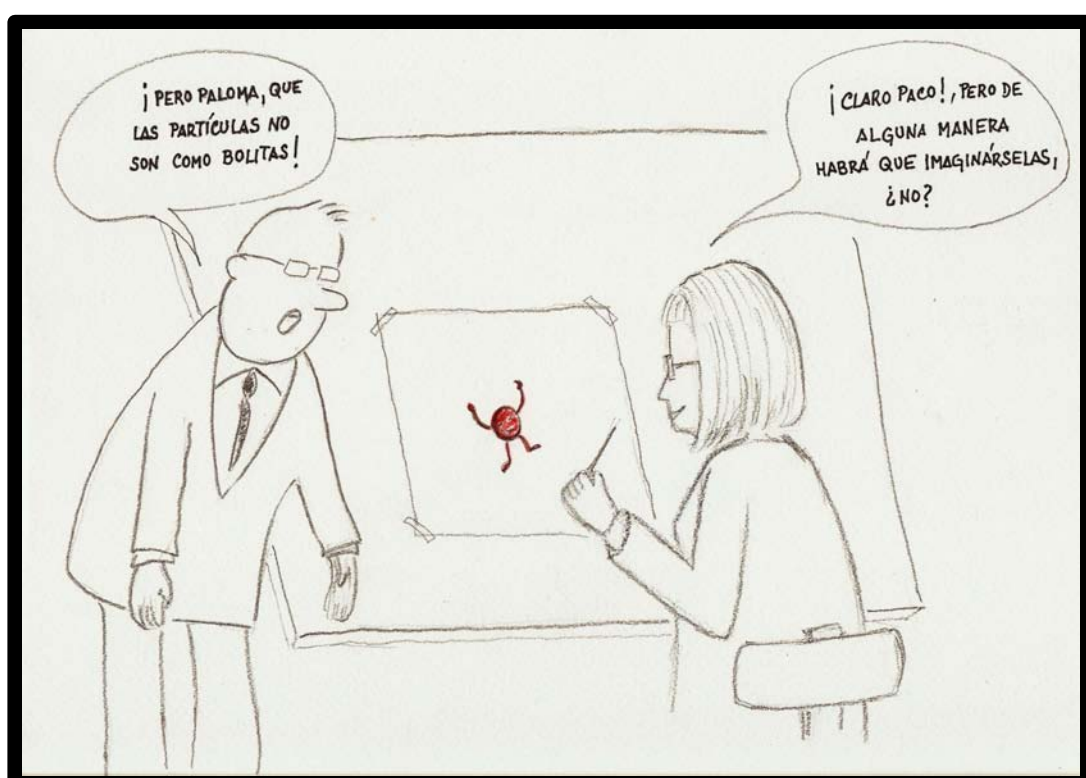
PERO VAMOS A CONTAR LA HISTORIA DESDE EL PRINCIPIO



ESTOS SON LOS PROTAGONISTAS DE LA HISTORIA:
 Si miramos suficientemente de cerca, TODO está hecho de PARTÍCULAS

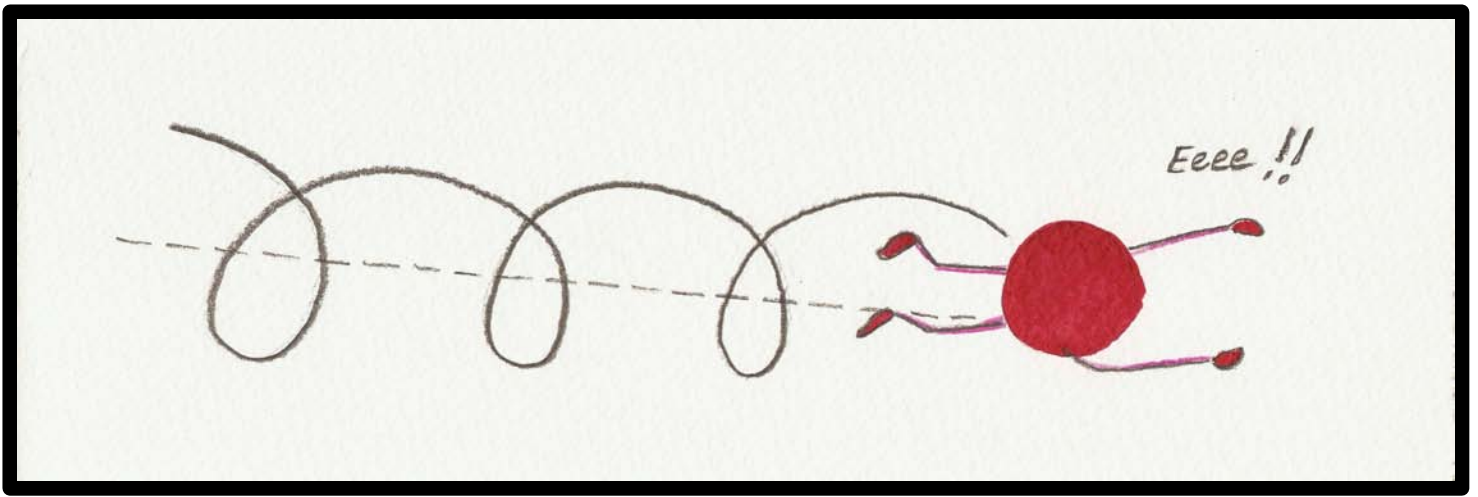


Y ahora
 vamos a
 contar la
 historia de
 la partícula
 cuya traza
 hemos visto
 en la cámara
 de niebla.
 Se llama
muón.

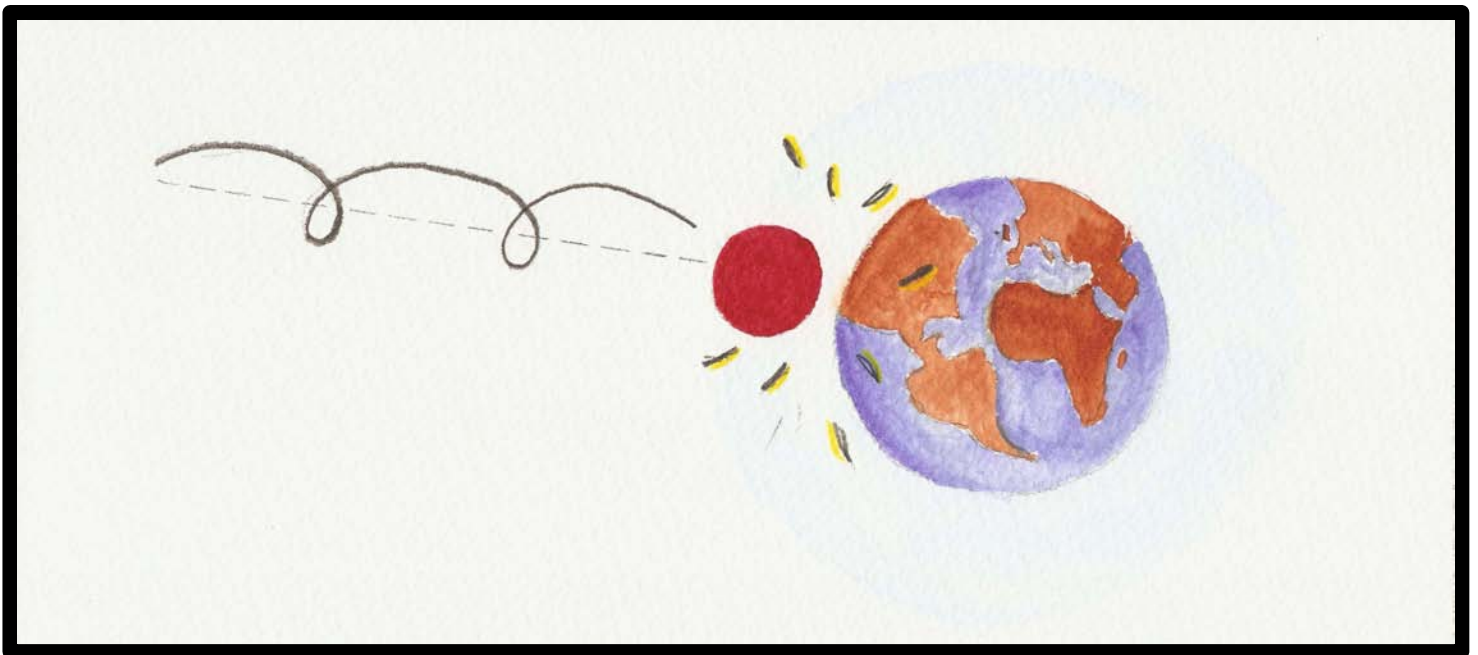


HACE MUCHO TIEMPO
EN UNA ESTRELLA MUY,
MUY LEJANA... UN PROTON
FUE ACELERADO EN UNA
EXPLOSION DE SUPERNOVA

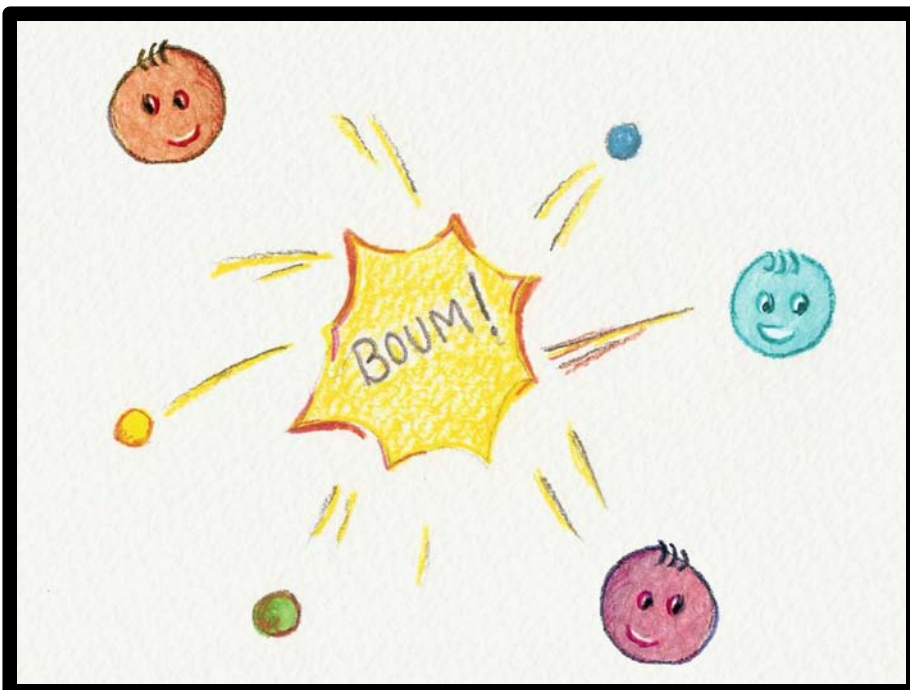




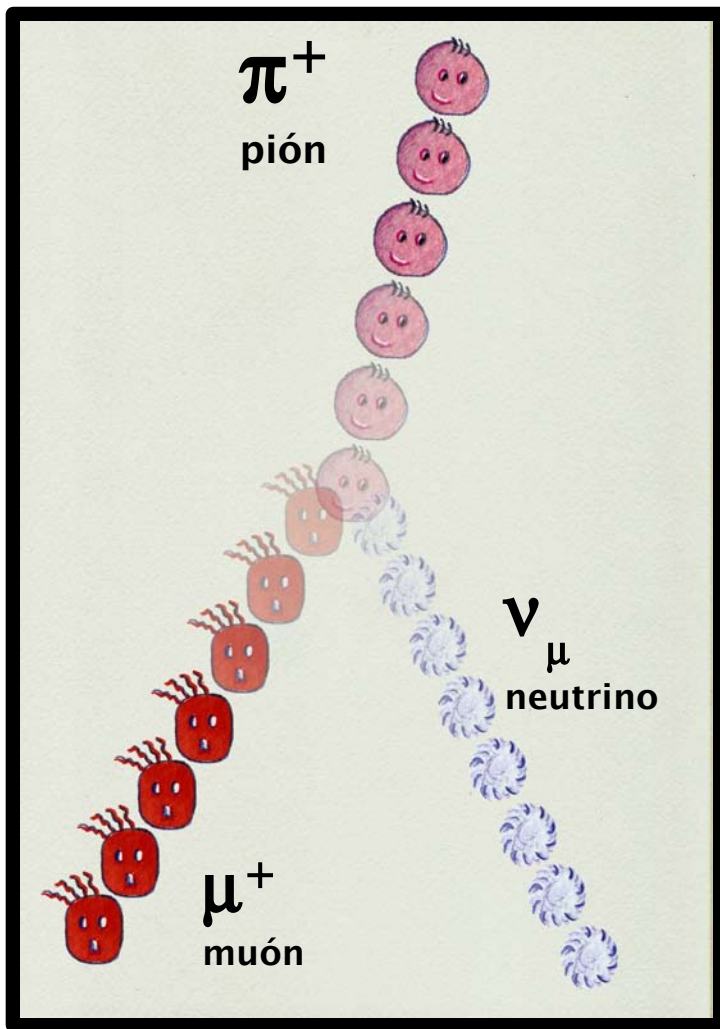
El protón viaja por el espacio interestelar y al cabo de mucho tiempo se tropieza con la Tierra



Y en la atmósfera terrestre va a chocar con un átomo...



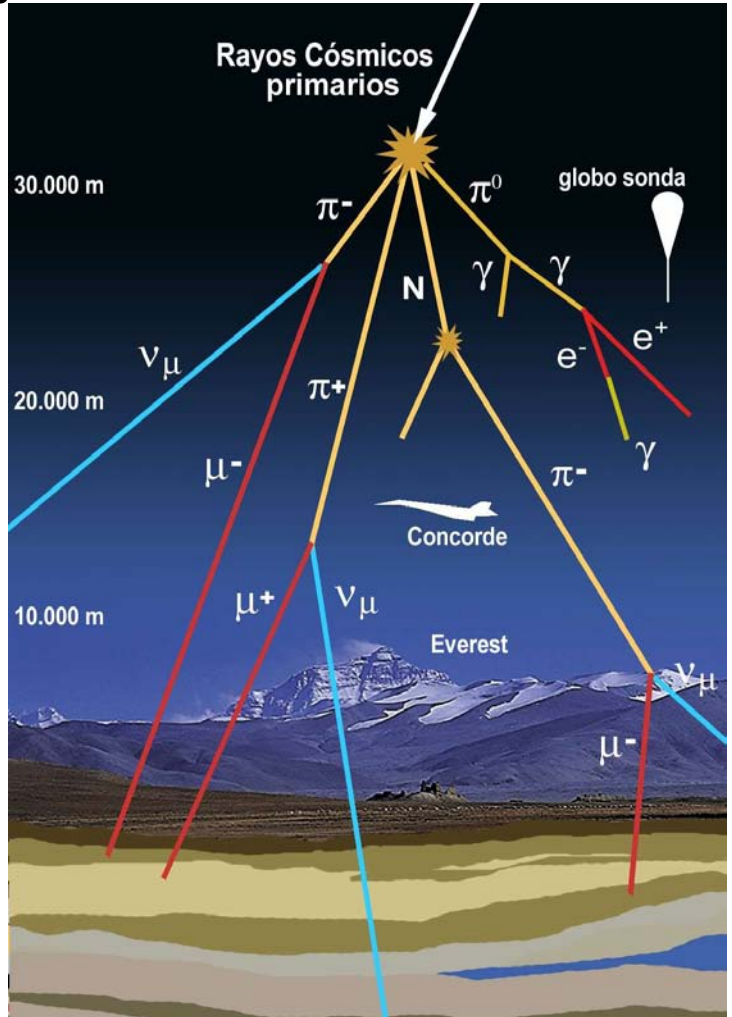
En el choque el protón desaparece y se crean nuevas partículas a partir de la energía de las que colisionaron, entre ellas un pión

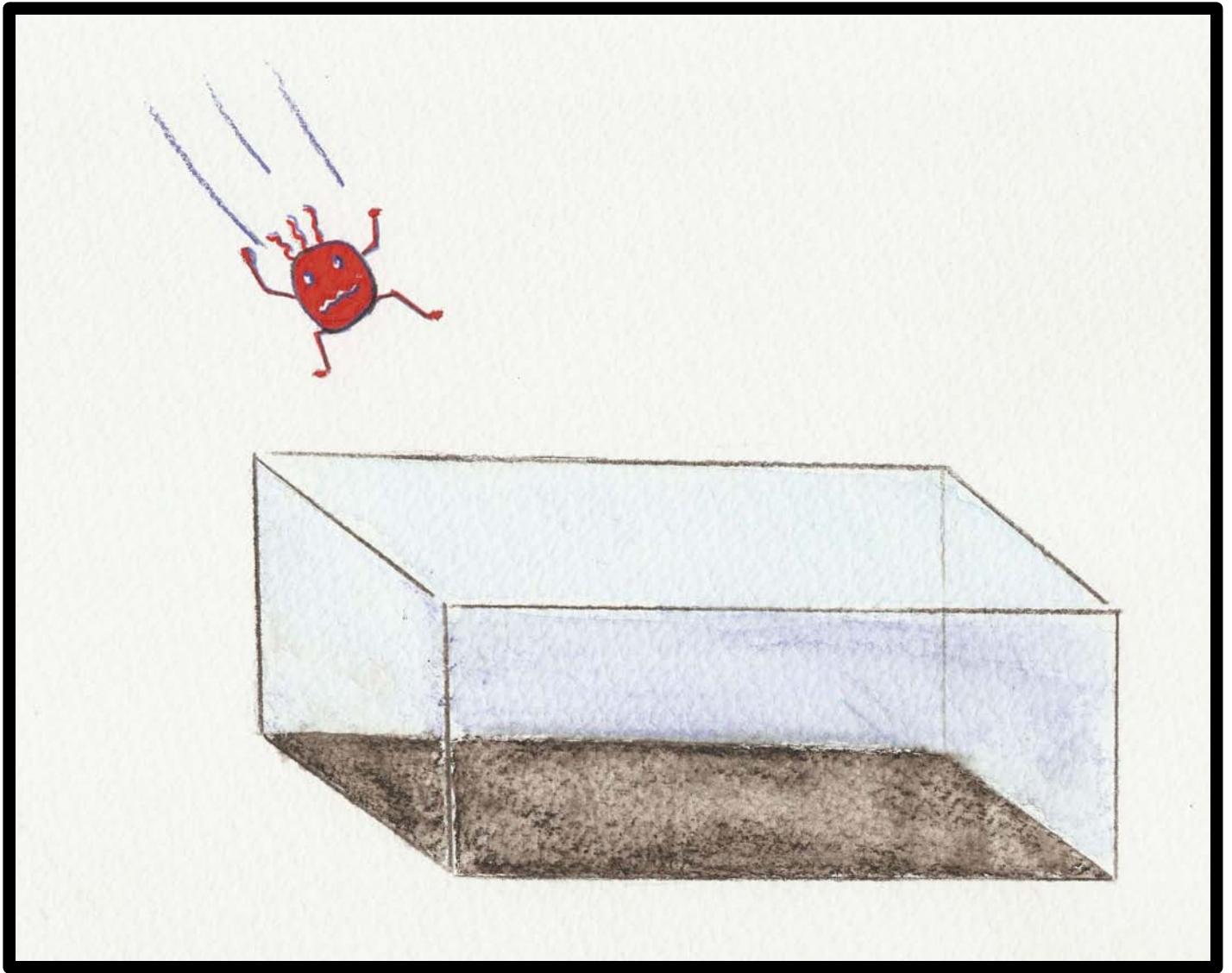


El pión sigue moviéndose hasta que, unas dos millonésimas de segundo después, cuando está a unos quince kilómetros de altura, se desintegra espontáneamente en otras dos partículas, un muón y un neutrino que siguen su viaje...

Y estos (muones, neutrinos, etc.) se llaman rayos cósmicos secundarios, que son los que llegan a la superficie terrestre.

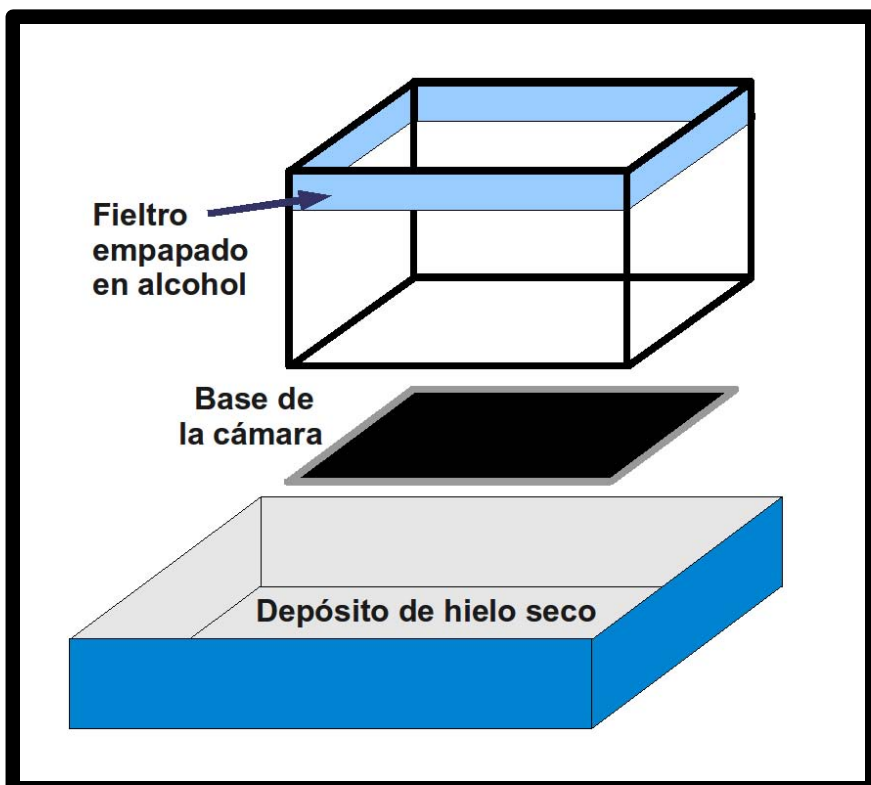
Descienden de nuestro protón y sus compañeros (a los que se llama rayos cósmicos primarios).

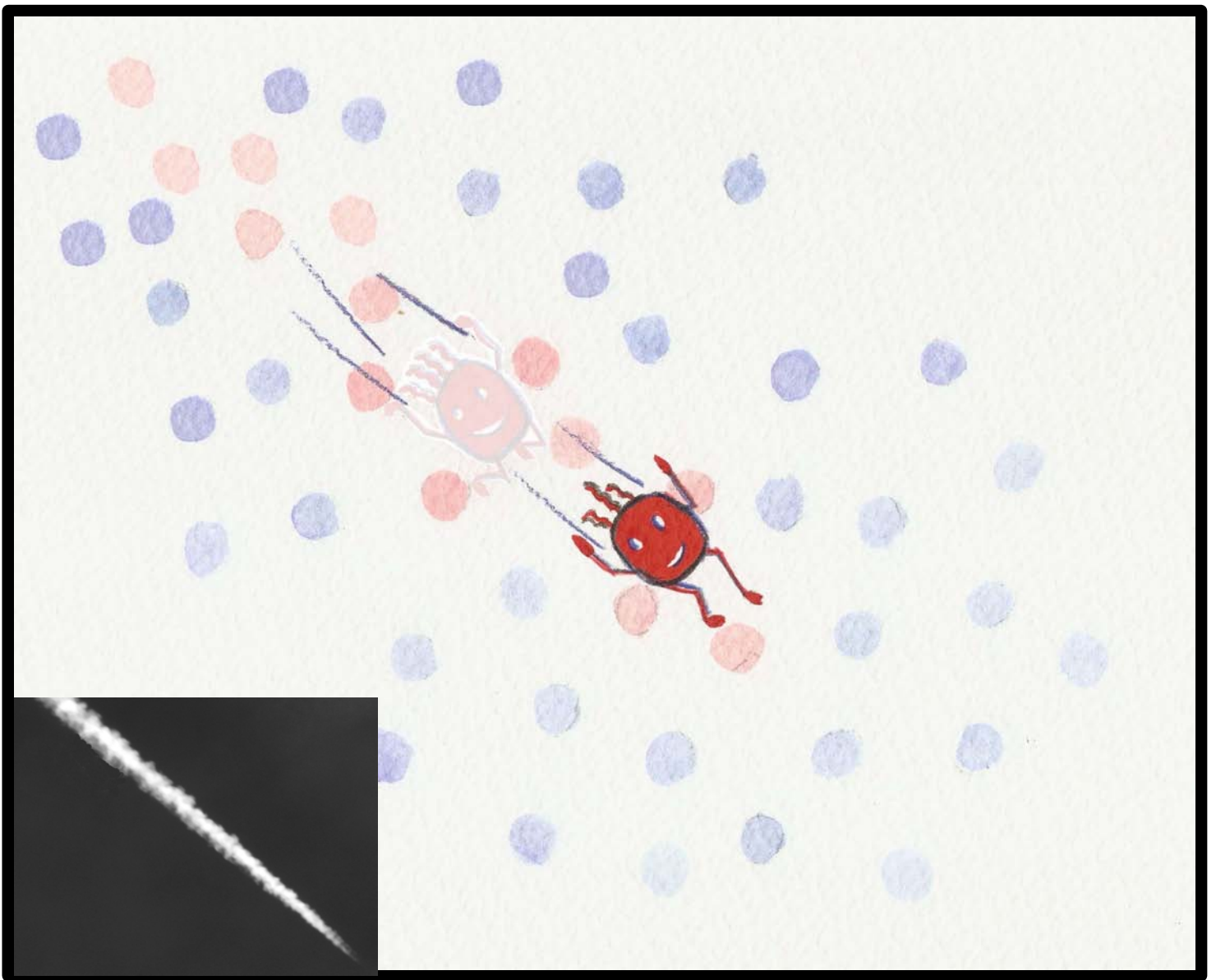




Al final el muón cae en la cámara de niebla, que no

es más que una pecera herméticamente cerrada llena de aire y vapor de alcohol y cuyo fondo está muy frío (lo que se consigue poniendo debajo hielo seco, que está a -79°C bajo cero)





Cuando el muón atraviesa el vapor de alcohol (tan frío que está deseando volverse líquido), va dejando a su paso un rastro de gotitas de alcohol que forman una estela como las de los aviones (bueno, casi; las de los aviones son de agua...)

La verdad es que no sólo los muones de los rayos cósmicos dejan sus trazas en la cámara; cualquier partícula con carga eléctrica y suficiente energía es capaz de hacerlo.

FIN