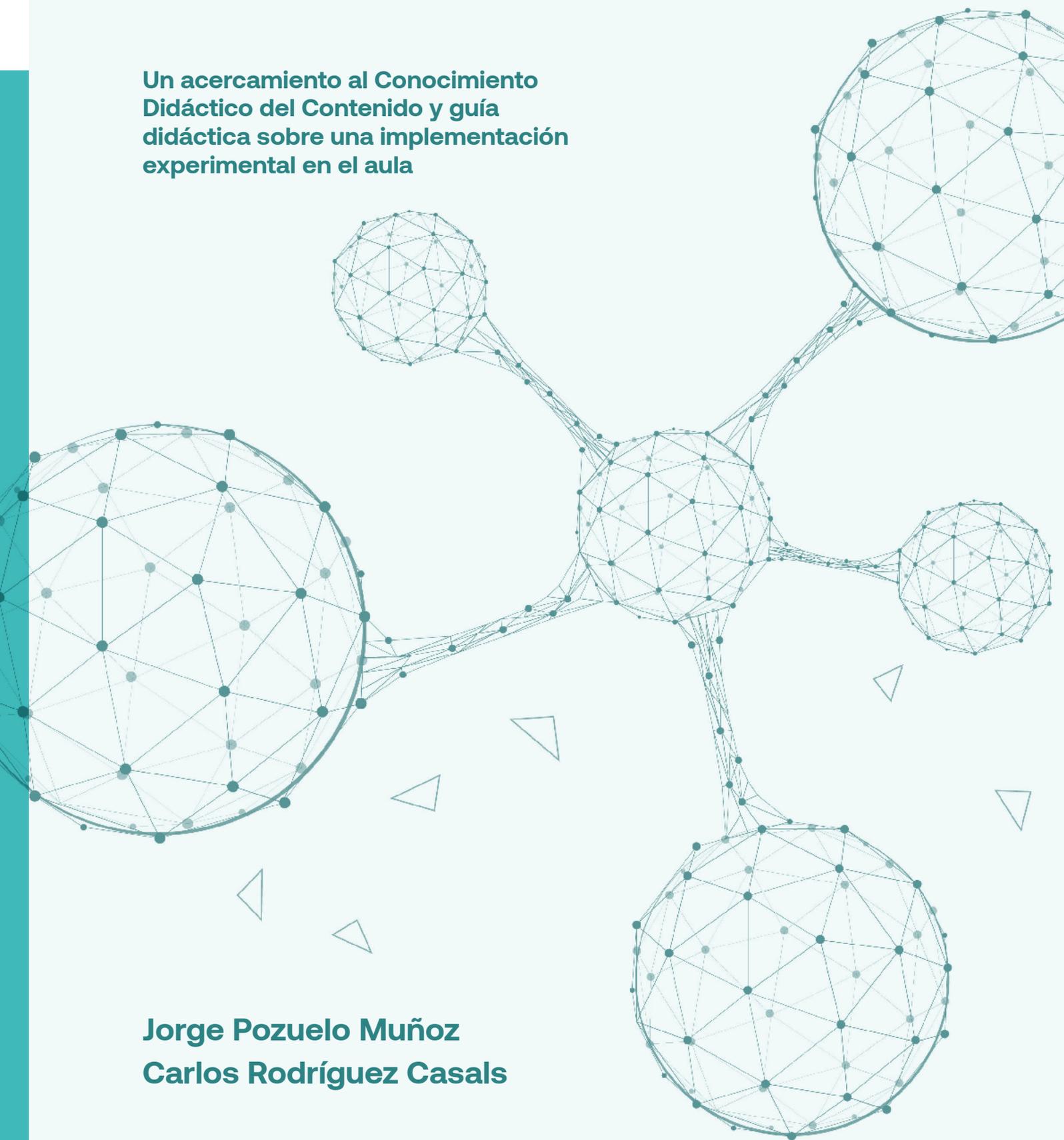


Más allá del átomo

Un acercamiento al Conocimiento
Didáctico del Contenido y guía
didáctica sobre una implementación
experimental en el aula

Jorge Pozuelo Muñoz
Carlos Rodríguez Casals



AuLIA

Más allá del átomo

Un acercamiento al Conocimiento Didáctico del Contenido y guía didáctica sobre una implementación experimental en el aula

Autores: Jorge Pozuelo Muñoz y Carlos Rodríguez Casals

© De los textos, sus autores.

© De las imágenes, sus autores.

1ª edición. Zaragoza, 2024

Edita: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza

ISBN: 978-84-10169-20-3



Con la colaboración de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA

Índice

04

Introducción

05

El CDC: Conocimiento Didáctico del Contenido

06

Conocimientos del contenido. ¿Qué saber además del átomo?

20

Conocimiento del contexto. ¿Aparecen las partículas en el currículum?

22

Conocimiento didáctico. ¿Cómo trabajar en el aula?

30

Reflexiones finales

31

Bibliografía

32

Agradecimientos

Introducción

El presente documento se presenta como una guía didáctica que pueda ser utilizada por el profesorado de educación secundaria y bachillerato para trabajar el conocimiento científico más allá del átomo. Esta guía surge de los contenidos, experiencias y desarrollo de un taller específico sobre la enseñanza de la física de partículas dirigido a profesorado de la Comunidad Autónoma de Aragón, llevado a cabo durante el curso 2023-2024 dentro del proyecto FCT-22-18288 AuLIA, cofinanciado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. Es a partir de este taller, cuando surge la idea de recoger en un documento las claves del mismo con el objetivo de facilitar la labor docente en la enseñanza de una rama de la física tan actual como es la física de partículas. Por ello, está dirigida a aquellos y aquellas profesores y profesoras que tengan interés de incorporar a sus clases de forma práctica esta rama de la física.

La guía se vertebra en torno al análisis del Conocimiento Didáctico del Contenido sobre la física de partículas. Así, se plantea un primer bloque dedicado al estudio de conocimiento del contenido que puede resultar de utilidad para poder trabajar en el aula. En este se plantea una breve introducción de cuáles son las partículas fundamentales que componen el Universo y las interacciones o fuerzas de la naturaleza a las que están vinculadas. En segundo lugar, se realiza una breve exposición sobre el contexto curricular de esta área de conocimiento en el currículum estatal y de la Comunidad Autónoma de Aragón.

Y por último, un tercer bloque dedicado a exponer el conocimiento didáctico del contenido, es decir, a mostrar diferentes formas de abordar la física de partículas en el aula. Es en este bloque donde se detalla la construcción de una cámara de niebla para su uso didáctico en clase y las posibles observaciones de partículas que podremos realizar. A su vez, se exponen otros fenómenos asociados a la física nuclear y de partículas que pueden ser trabajados en el aula de forma práctica y experimental.

La guía tiene como objetivo fundamental hacer una introducción de la física partículas de forma experimental que pueda ser implementada en bachillerato y algunos cursos de educación secundaria. La naturaleza imperceptible de la física de partículas hace que el trabajo experimental resulte especialmente llamativo para el alumnado, sin tener que recurrir a elementos matemáticos para su explicación y/o comprensión y pudiendo realizar una práctica experimental relativamente sencilla, pero con unos resultados que sorprenden a alumnado y profesorado: hacer visible lo invisible. Todo ello se consigue sin intermediación de dispositivos electrónicos que dificulten o enturbien el fenómeno a observar: la interacción de las partículas en un dispositivo que el propio alumnado construye. En definitiva, se plantea una propuesta experimental que pone al alcance de los y las estudiantes la famosa cita de Richard Feynman: “si no lo puedo crear, es que no lo entiendo”.

El CDC: Conocimiento Didáctico del Contenido

El Conocimiento Didáctico del Contenido o CDC, puede tomarse como el pilar de conocimientos sobre los que el docente parte para llevar a cabo su práctica docente (Bolívar, 2005). El CDC se compone de tres grandes bloques: conocimiento científico del contenido; conocimiento del contexto del contenido; conocimiento didáctico de dicho contenido. Cada uno de los bloques pretende dar respuesta a una serie de preguntas a partir de las cuales el profesorado afronta el diseño de secuencias de enseñanza y también su implementación en el aula. En el día a día del profesorado, rara vez se habla o menciona el CDC, porque la práctica diaria, la experiencia y la vigencia histórica de los contenidos a trabajar en el aula, hacen que no exista ni el tiempo ni la necesidad de hablar de ello. Sin embargo, esto puede provocar dificultades a la hora de actualizar tanto contenidos como metodologías, más aún cuando los contenidos son relativamente complejos o específicos. Este podría ser el caso de la física de partículas. Aunque es un conocimiento vivo y sobre el que se sigue investigando, las bases del mismo están establecidas desde hace décadas (y en algunos conceptos, ya se supera el siglo), y, sin embargo, su cabida en las aulas suele ser limitado. Por ello, un primer paso para acercarse a la forma de abordar la física de partículas en el aula puede ser plantear una aproximación básica al CDC de la física de partículas para secundaria y bachillerato. En la figura 1 se propone un posible acercamiento al CDC basado en la física de partículas.

Figura 1.
Principios del CDC adaptado a la física de partículas.



Sobre este esquema, se desarrolla esta guía didáctica con la intención de tener en un pequeño documento las bases sobre las que el profesorado pueda hacer una aproximación al conocimiento científico básico de la física de partículas, al currículum y la implementación en el aula más allá de las exposiciones teóricas.

Conocimientos del contenido. ¿Qué saber además del átomo?

EL ÁTOMO

El primer paso que debe ser afrontado es identificar aquellos conocimientos científicos básicos con los que el profesorado debe contar. En España, los requisitos para ser profesor o profesora del cuerpo de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato exigen contar con una titulación especializada y un máster en enseñanza. Si se pone el foco en la enseñanza de las ciencias experimentales, el acceso al cuerpo docente tiene origen en multitud de carreras científicas: graduado en física, química, matemáticas, ingeniería, informática, biología, óptica, ciencias ambientales, etc. La enseñanza de la física de partículas se imparte en el marco de la especialidad de Física y Química, sin embargo, no serán mayoría los docentes que hayan trabajado estos conocimientos en sus carreras de origen. Por ello, un punto de partida para trabajar la física de partículas es reconocer aquellos conocimientos que se consideran fundamentales, para poder profundizar a partir de ellos. Esto significa que lo mostrado en este apartado constituye parte de la base o fundamento de la física de partículas, que constituye en sí mismo un campo de conocimiento, y no debe simplificarse o reducirse a la enseñanza de un conjunto de conceptos. Así, los autores de esta guía estamos seguros de que dejaremos en el tintero muchos conceptos que otros profesores y profesoras pueden considerar fundamentales. Sin embargo, los que exponemos aquí son los que consideramos fundamentales para poder trabajar la física de partículas en el aula de forma cómoda, en cuanto a conocimientos científicos se refiere.

El nexo de conexión natural de la física de partículas con los contenidos vistos tanto en secundaria como en bachillerato es el estudio del modelo atómico. Los modelos atómicos son abordados por la mayoría de los libros de texto de Física y Química y los currículos educativos. Los modelos más trabajados en educación secundaria y bachillerato se muestran en la figura 2.

Figura 2. Modelos atómicos más utilizados.



**Dalton
(1803)**

La unidad indivisible de un elemento es el átomo

**Thomson
(1904)**

Descubrió el electrón como carga negativa, que están pegadas a una carga positiva

**Rutherford
(1911)**

Núcleo central con carga positiva que acumula casi toda la masa del átomo, rodeado de cargas negativas (electrones)

**Bohr
(1913)**

Los átomos ocupan niveles de energía (órbitas) específicos alrededor del núcleo

**Schrödinger
(1926)**

Modelo cuántico, en el que la posición de los electrones ocupan distintas zonas de probabilidad alrededor del núcleo

**Dirac-Jordan
(1928)**

Modelo cuántico-relativista

A continuación, se expone una descripción con algo más de detalle de cada uno de ellos:

MODELO ATÓMICO DE DALTON

El modelo atómico de Dalton, propuesto por John Dalton en el siglo XIX, postula que los átomos son esferas sólidas e indivisibles. Dalton creía que los átomos de un elemento son idénticos en masa y propiedades, mientras que los átomos de diferentes elementos tienen masas diferentes. Además, sugirió que los átomos se combinan en proporciones simples para formar compuestos, y estas combinaciones obedecen a leyes de proporciones definidas y múltiples. Dalton también introdujo la idea de que los átomos no se crean ni se destruyen durante una reacción química, simplemente se reorganizan. Aunque algunas de sus ideas han sido superadas por desarrollos posteriores en la física y la química, el modelo atómico de Dalton sentó las bases para nuestra comprensión moderna de la estructura atómica y las leyes fundamentales de la química.

MODELO ATÓMICO DE THOMSON

El modelo atómico de Thomson, propuesto por J.J. Thomson, visualiza al átomo como una esfera cargada positivamente en la que están incrustados electrones negativos, por eso se le conoce como modelo del “pudding de pasas”. Según este modelo, los electrones se distribuyen uniformemente en la esfera de carga positiva, lo que mantiene al átomo eléctricamente neutro. Thomson también demostró que los electrones pueden ser movidos de los átomos mediante la aplicación de una corriente eléctrica, lo que llevó al descubrimiento del electrón.

MODELO ATÓMICO DE RUTHERFORD

El modelo atómico de Rutherford, propuesto por Ernest Rutherford a principios del siglo XX, sugiere que el átomo tiene un núcleo central cargado positivamente, alrededor del cual los electrones giran en órbitas específicas. En este modelo, la mayor parte de la masa del átomo se concentra en el núcleo, mientras que los electrones están distribuidos en el espacio alrededor del núcleo. Rutherford desarrolló su modelo mediante experimentos de dispersión de partículas alfa a través de láminas delgadas de materia, observando que algunas partículas eran desviadas en ángulos grandes, lo que indicaba la presencia de un núcleo con la mayoría de la masa del átomo.

MODELO ATÓMICO DE BOHR

El modelo atómico de Bohr, desarrollado por Niels Bohr en 1913, introduce la idea de que los electrones orbitan alrededor del núcleo en niveles específicos de energía, también llamados “órbitas cuánticas” o “niveles de energía”. Bohr postuló que los electrones pueden saltar entre estas órbitas, emitiendo o absorbiendo energía. Este modelo explica la estabilidad de los átomos y por qué los electrones no caen en el núcleo, como predice la física clásica. Además, establece que los electrones más cercanos al núcleo tienen niveles de energía más bajos, mientras que los electrones en órbitas más externas tienen niveles de energía más altos.

MODELO ATÓMICO DE SCHÖDINGER

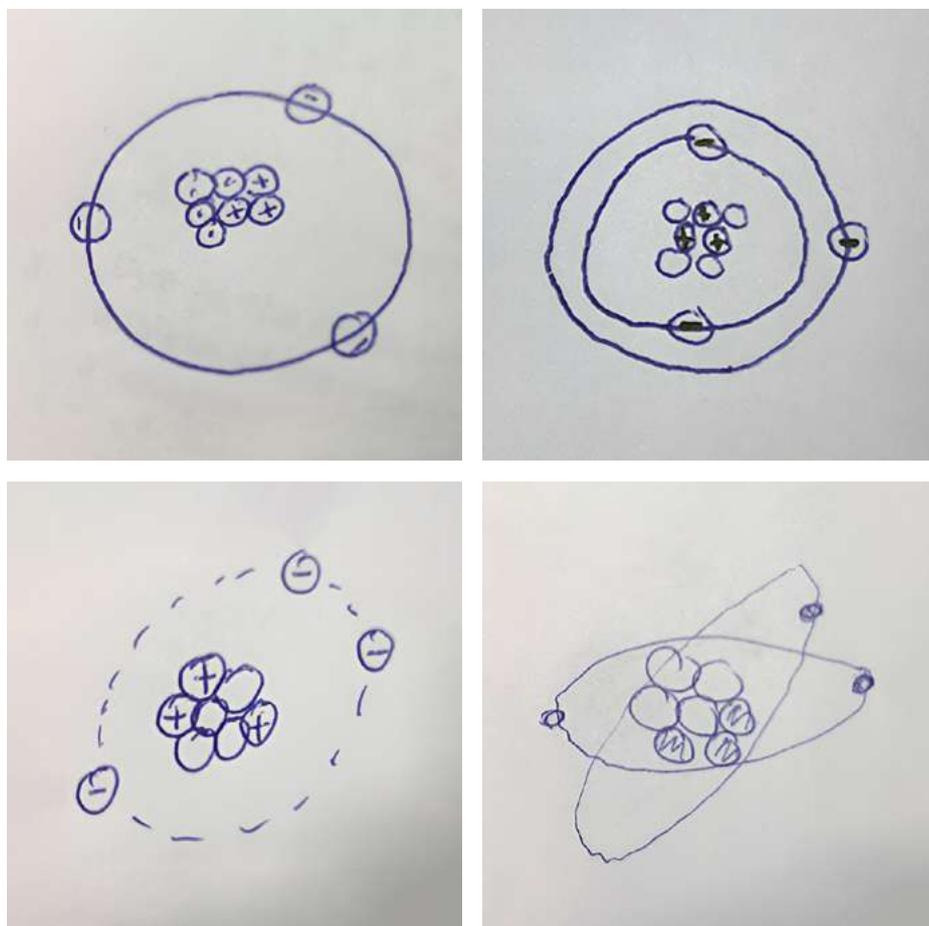
El modelo cuántico, desarrollado por Erwin Schrödinger en la década de 1920, describe el comportamiento de los electrones en el átomo utilizando la mecánica cuántica. A diferencia de los modelos anteriores, el modelo de Schrödinger no considera a los electrones como partículas que orbitan en trayectorias definidas, sino como ondas de probabilidad que rodean al núcleo en formas llamadas “orbitales”. Estos orbitales representan regiones del espacio donde hay alta probabilidad de encontrar un electrón. Además, el modelo cuántico proporciona una descripción precisa de los niveles de energía y la estructura electrónica de los átomos, permitiendo predecir con precisión las propiedades químicas y físicas de los elementos. Este enfoque revolucionó nuestra comprensión de la naturaleza fundamental de los átomos y sentó las bases para la física cuántica moderna.

MODELO ATÓMICO DIRAC-JORDAN

El modelo atómico de Dirac-Jordan, también conocido como modelo de Jordan-Dirac, fue propuesto de manera independiente por Paul Dirac y Pascual Jordan en la década de 1920. Este modelo, precursor de la mecánica cuántica, se basa en los principios de la teoría cuántica y la relatividad especial de Einstein. El modelo incorpora la noción de que los electrones tienen propiedades de onda y partícula al mismo tiempo, y describe su comportamiento a través de ecuaciones relativistas, como la ecuación de Dirac, que tiene en cuenta tanto la energía cinética como la masa en reposo del electrón. Además, el modelo de Dirac-Jordan predice la existencia de antipartículas, como el positrón, una partícula con carga positiva que es la antipartícula del electrón. Esta predicción fue fundamental para el desarrollo posterior de la física de partículas.

Una vez expuestos los modelos, es importante aclarar que la explicación y los conocimientos asociados a cada modelo, tanto de la figura como de la exposición escrita, deben ser los que trabajemos con los estudiantes, dado que en ocasiones excederán en mucho su capacidad de comprensión. Sin embargo, puede resultar de utilidad como docentes tener un conocimiento más allá de aquello que debemos exponer.

Figura 3. Modelos atómicos dibujados por alumnado de 4º de ESO. Imágenes extraídas del trabajo de Cascarosa et al. (2022)



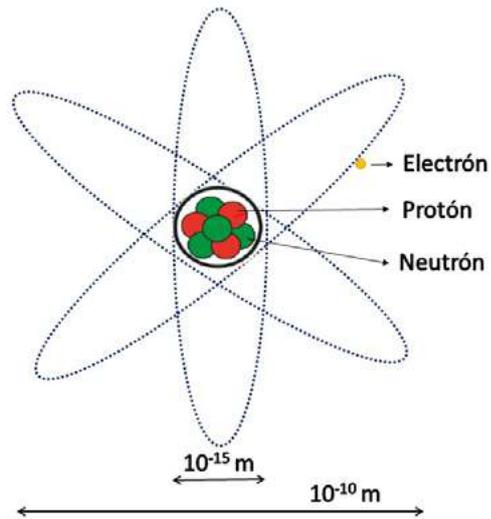
Reflexión Didáctica

El desarrollo del modelo atómico es una parte ideal de las ciencias para poder trabajar la propia naturaleza de la ciencia. Por un lado, para trabajar la forma en la que se desarrolla el conocimiento científico, en este caso a partir de modelos que evolucionan con el tiempo y por otro lado, para tratar la forma en la que la teoría puede predecir un fenómeno que después es comprobado experimentalmente.

Al observar estos dibujos, se observa la combinación de estos modelos en algunos casos y a su vez, se identifica un elemento que no ha sido definido en los modelos atómicos que se han expuesto anteriormente: la existencia del neutrón. El neutrón fue propuesto por Rutherford en 1920, pero no fue descubierto experimentalmente hasta 1932 por Chadwick. Esta circunstancia hace que en algunas ocasiones se incorpore el neutrón a los distintos modelos, pero no en todas las ocasiones. Esto puede generar problemas al trabajar con el alumnado de secundaria, sin embargo, puede ser utilizado como un ejemplo óptimo para trabajar la **naturaleza de la ciencia**. En el caso de los modelos atómicos para explicar qué es un modelo y cómo puede evolucionar y al mismo tiempo, para hablar de la predicción teórica y la práctica experimental.

Una vez se trabajan los modelos atómicos, es posible intentar profundizar más en la naturaleza del propio átomo. Un primer paso es intentar conceptualizar su tamaño (figuras 4 y 5). Los radios típicos de un protón y un neutrón, que se refieren a sus tamaños nucleares, son aproximadamente de 0.9 femtómetros (es decir en torno a 10^{-15} metros). Por otro lado, no se puede hablar del radio de un electrón, dado que es una partícula cuántica que no puede interpretarse en el sentido clásico de esfera. Sin embargo, sí que se puede estimar a distancia promedio entre el núcleo y el electrón en un átomo, que, en el caso del hidrógeno, por ejemplo, es alrededor de 0.5 Angstroms (es decir, en torno a 10^{-10} metros).

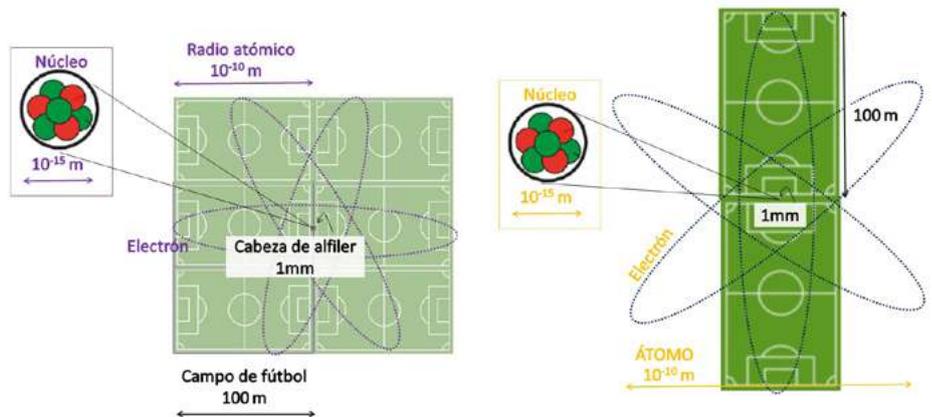
Figura 4.
Representación de un átomo.



Equivalencia a lo macroscópico:

Si el núcleo de un átomo midiese 1mm, el radio del átomo mediría 100m (como la cabeza de un alfiler en la portería de campo de fútbol comparada con la distancia entre porterías).

Figura 5.
Comparación entre lo macro y lo micro para conceptualizar el tamaño de un átomo.



Reflexión Didáctica

Trabajar el modelo atómico e intentar conceptualizar las medidas permite plantear la pregunta: ¿Qué hay entre el núcleo de un átomo y sus electrones? La respuesta es el vacío, y esta es una verdadera complicación para los estudiantes, ya que el concepto de vacío es algo complejo. Explicamos el vacío como la ausencia de materia, pero ¿cómo puede haber vacío dentro de la propia materia? ¿Toda la materia tiene vacío dentro?

Podemos pasar por encima de estos números sin pararnos a reflexionar, y no exclusivamente por lo pequeños que son, sino por la diferencia tan grande entre ellos: en torno a los 5 órdenes de magnitud. Eso significa que si imaginamos que el núcleo de un átomo es de 1mm (aproximadamente la cabeza de un alfiler), los electrones estarían en torno a los 100 metros de distancia (aproximadamente la longitud de un campo de fútbol).

Tras observar estas imágenes, la pregunta que surge es: ¿qué hay entre el núcleo y los electrones? La respuesta es el vacío, es decir, únicamente espacio. Nada más.

Hasta este punto, ya habríamos tratado el átomo y sus partículas elementales: protones, neutrones y electrones. Pero es a partir de aquí, cuando comienza la introducción a conceptos y contenidos más estrechamente vinculados con la física de partículas.

Esta introducción se plantea a partir de una pregunta que, en más de una ocasión, nos habrán hecho los estudiantes en clase:

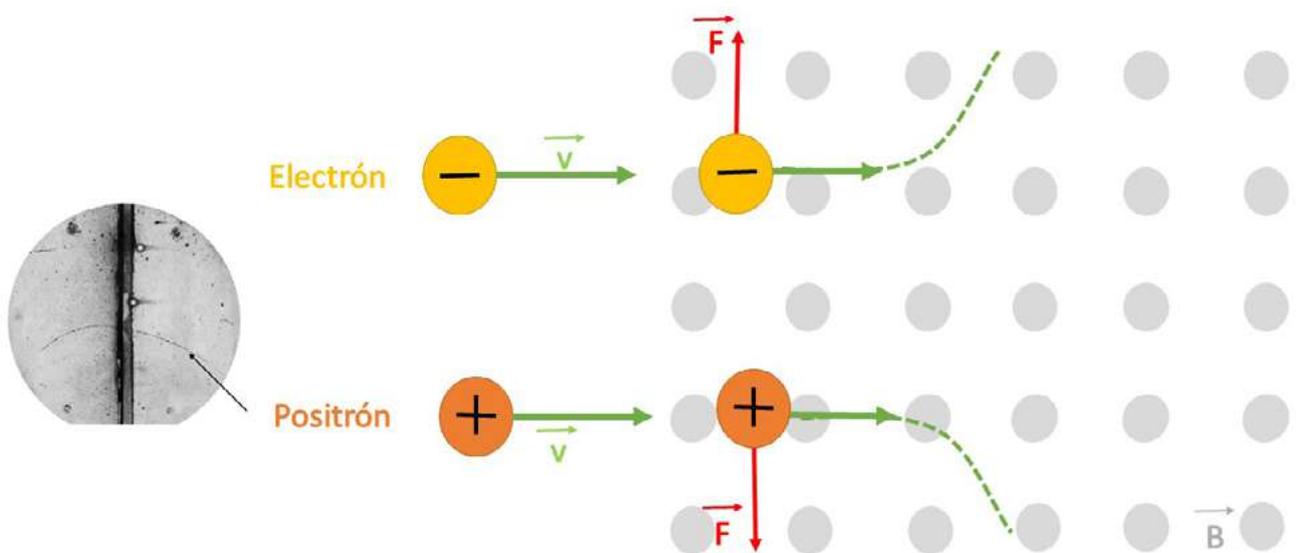
“las moléculas se componen de átomos, los átomos de protones, neutrones y electrones, y, ¿los protones, neutrones y electrones se componen de algo más?; ¿y hay más tipos de partículas además de esas?”

Estas preguntas, a veces, se dejan en el aire por diferentes motivos: falta de tiempo, lo inalcanzable del currículo, desinterés en el tema o simple desconocimiento. Sin embargo, hay respuesta para ello desde hace décadas y no supone excesiva complejidad poder tratarla en el aula, aunque para ello, hay que ir más allá del átomo.

MÁS ALLÁ DEL ÁTOMO

Para intentar empezar a plantear preguntas sobre si “hay algo más allá del átomo” y de forma que podamos trabajarlo en el aula, vamos a partir del físico y matemático Paul Dirac. Con la afirmación “Toda ley física debe tener belleza matemática”, una frase no demasiado científica, Dirac abrió el camino en la búsqueda de partículas hasta entonces desconocidas. En 1928, el científico postuló el comportamiento de un electrón relativista, unificando las dos grandes teorías físicas de la época: la mecánica cuántica y la relatividad especial. Para poder entendernos y sin perder de vista el objetivo didáctico de la guía, podemos entender la **mecánica cuántica**, como la ciencia que estudia el comportamiento de lo muy pequeño. Y es que, en ese mundo de lo pequeño, la física no funciona igual que en el mundo macroscópico. Ya hemos mencionado por ejemplo el caso del electrón, que no lo podemos entender como “una bolita” de masa ni tampoco interpretar su movimiento alrededor del núcleo como orbitas clásicas. Por otro lado, la **relatividad especial**, es la física postulada por Einstein que explica el comportamiento de aquello que se mueve a velocidad muy alta (cercanas a la de la luz). Partiendo de ambas teorías, Dirac planteó lo que pasó a llamarse como **teoría cuántica de campos**, que siguiendo con las reducciones conceptuales de las mismas podríamos entender como la física que estudia “las cosas muy pequeñas que se mueven muy rápido”. Según esta ecuación ocurría algo inquietante: debería existir una partícula con masa idéntica a la del electrón, pero con una energía negativa. Y aún más perturbador, según la ecuación si esa partícula se encontrase con un electrón, ambas desaparecerían, lo que en el argot de la física suena mucho más espectacular: las partículas se aniquilan. Dirac tardó tres años en convencerse de su predicción, pero finalmente postuló la existencia de partículas similares al electrón, pero con carga positiva. Un año después, en 1932, Anderson, usando un instrumento de detección de partículas, logró fotografiar un electrón pero con carga positiva y lo llamaron positrón. Y aunque la historia de la física y sus descubrimientos no es tan sencilla Graham-Farmelo (2010), la realidad es que era la prueba de la existencia de la **antimateria**. Cuando una partícula cargada atraviesa un campo magnético, esta sufre una fuerza que hace que se desvíe hacia un lado u otro. El positrón se descubrió identificando partículas que se desviaban al contrario que los electrones y sin embargo eran el mismo tipo de partícula. De ahí se dedujo que eran partículas similares, pero con cargas diferentes.

Figura 6. Imagen real de un positrón dentro de una cámara de niebla y gráfico de la Ley de Lorentz para el comportamiento de un electrón y de un positrón al entrar a un campo magnético.

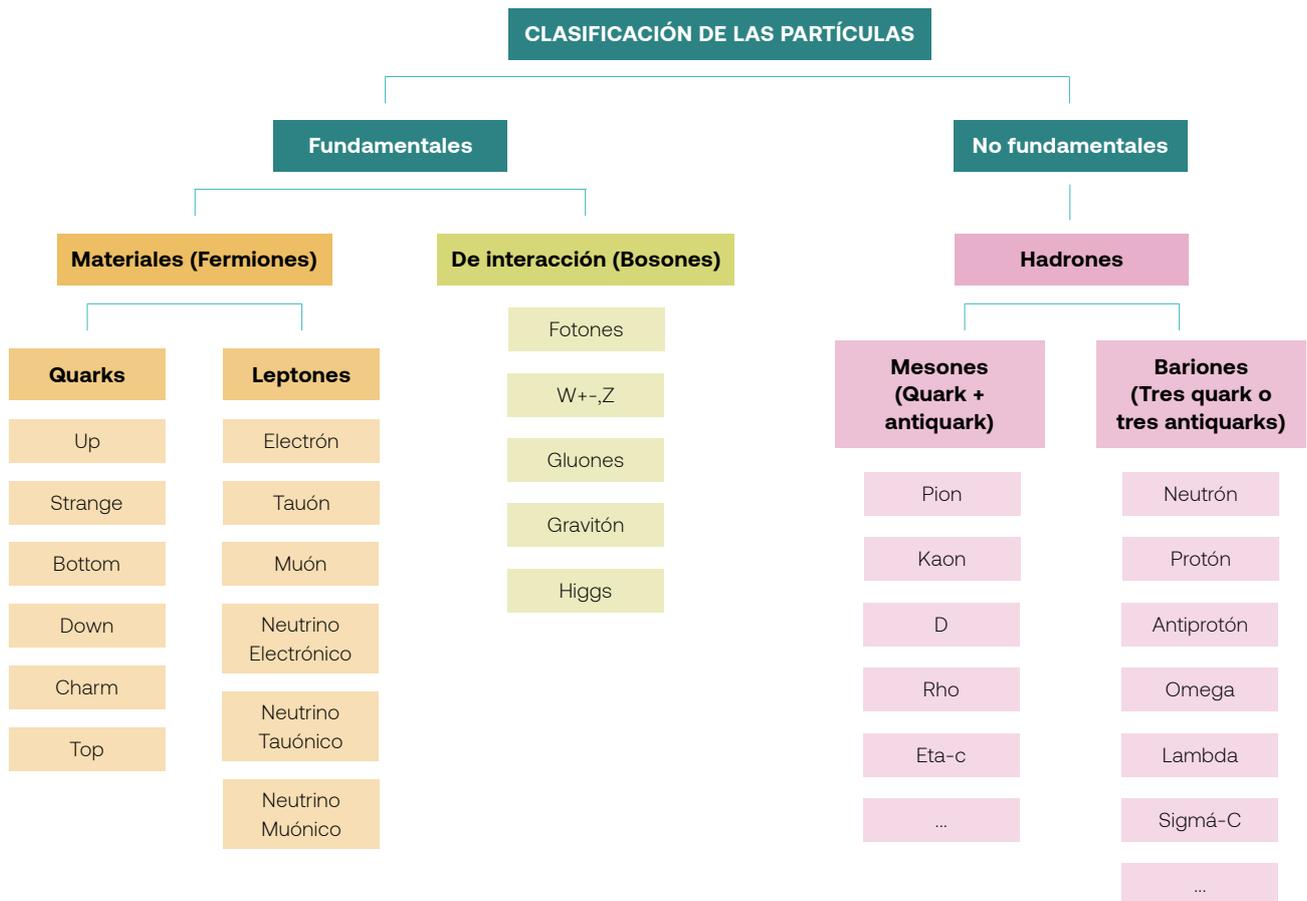


Esta circunstancia permite establecer relaciones entre contenidos de la física. Un ejemplo, es la posibilidad de trabajar la Ley de Lorentz. En la figura 6, se muestra la imagen real de un positrón en una cámara de niebla y la explicación gráfica de la ley de Lorentz.

El descubrimiento de esta nueva partícula es uno de los primeros entre los muchos que se van a dar a partir de la década de 1930: antiprotón, kaón, eta-c, neutrinos, bosón W, pion, omega, J/psi (en su descubrimiento en 1974 participó el español Álvaro de Rújula), muones, quarks... Y todo un amplio espectro de partículas. Ante esta situación, los científicos y científicas comenzaron a clasificar todas las partículas.

Dicha clasificación comenzó por diferenciarlas entre partículas Fundamentales y No Fundamentales. Este aspecto es especialmente relevante, dado que una opinión generalizada entre el estudiantado es que las partículas fundamentales, es decir, las partículas a partir de las cuales se conforma todo, son: el protón, el neutrón y el electrón. Sin embargo, como se observa en la figura 7, únicamente el electrón es partícula fundamental, mientras que el neutrón y el protón, no lo son:

Figura 7. Clasificación de las partículas.



Reflexión Didáctica

¿Y todo esto hay que saber?

No sería necesario (ni recomendable) que el alumnado deba aprenderse todos los tipos de partículas, pero sí identificar que hay muchas otras cuestiones: hay otros tipos de partículas a las que estamos habituados; hay partículas con masa y otras sin masa; los protones y neutrones NO son partículas elementales...

Aunque esta guía no pretende explicar las características de cada una de las partículas expuestas en el gráfico, sí que resulta interesante mencionar algunas de ellas.

Por ejemplo, se identifican las partículas fundamentales de las que no lo son. Esto significa que las segundas están compuestas de alguna manera por las primeras. Es más, dentro de las partículas fundamentales encontramos dos tipos de partículas. Por un lado, los fermiones, que son las partículas con masa y dentro de estos, dos tipos: los quarks y los leptones. Por otro lado, también están los bosones como partículas fundamentales, en este caso sin masa y como partículas de interacción como se verá más adelante. En el lado de las partículas fundamentales están los hadrones. Este tipo de partículas son materiales y están compuestas por quarks. A su vez, hay dos tipos de hadrones, los mesones (formados por un quark y un antiquark) y los bariones (formados por tres quarks o tres antiquarks). Dentro de estos últimos, los bariones, encontramos las partículas que forman el núcleo de los átomos, el protón y el neutrón. Es decir, el átomo de los elementos químicos que forman la materia está compuesto por leptones (electrones) y dos tipos de bariones (el neutrón y el protón, que a su vez están compuestos por quarks).

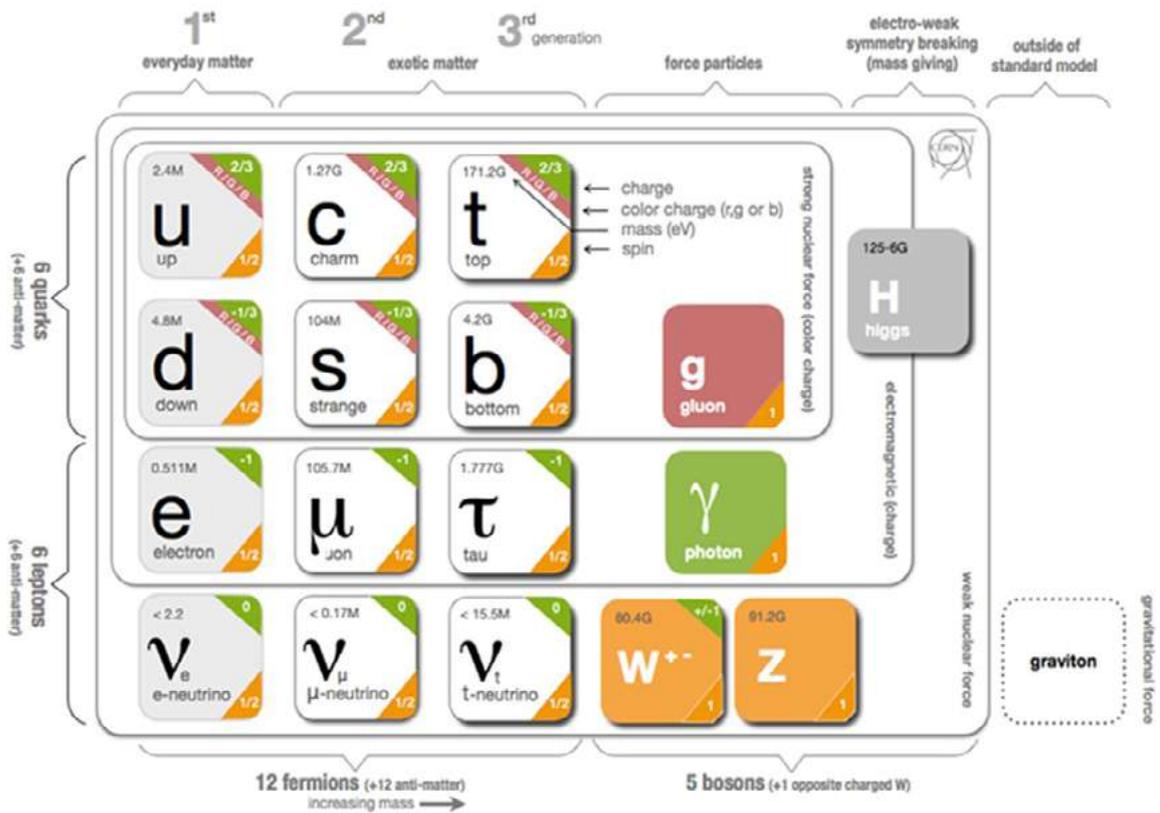
El descubrimiento de hadrones ha sido continuado a lo largo del siglo XX. Sin embargo, la partícula encontrada con mayor fama fue descubierta en el año 2012: el bosón de Higgs. Este bosón, era la culminación experimental a la teoría que venía desarrollándose desde los años 60, y se llevó a cabo en el laboratorio de física de partículas del mundo, el CERN, situado en Ginebra (Suiza). Con el bosón de Higgs se cierra la agrupación de partículas que constituye absolutamente TODO el Universo que hasta día de hoy conocemos. Esta agrupación de partículas, se recoge en el llamado Modelo Estándar de Partículas.

EL MODELO ESTÁNDAR DE PARTÍCULAS

En la figura 8, se representa el Modelo Estándar, o lo que viene a ser lo mismo, las piezas fundamentales a partir de las cuáles se construye toda la materia del Universo:

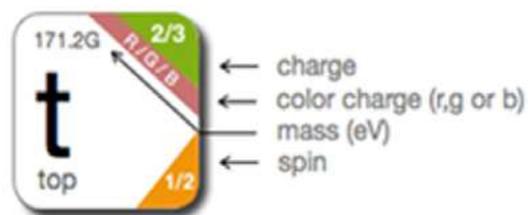
Esta figura ilustra los componentes del Universo conocido desde aproximadamente 0,000000001 segundos después del Big Bang.

Figura 8. Modelo Estándar de Partículas. Extraído de: CERN (2015).



A su vez, esa representación en concreto (disponible en la página web de CERN), ofrece gran cantidad de información de las partículas en su conjunto y de las propiedades individuales de las mismas. Por ello, antes de exponer las partículas en general, se exponen qué muestra cada uno de los valores incluidos dentro de cada partícula, utilizando la figura 9.

Figura 9. Representación de cada partícula.



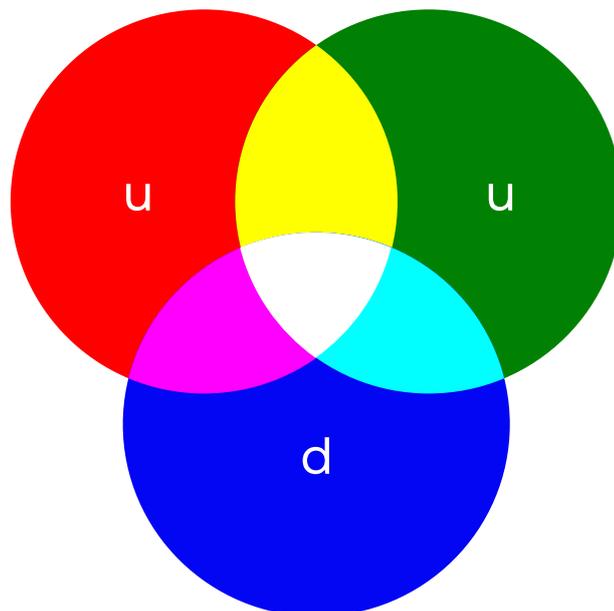
La parte más sencilla e intuitiva sería el símbolo, que sería la letra, y el nombre, que aparece debajo de la letra. En cuanto a las propiedades, comencemos con un concepto relativamente accesible: la masa.

En la esquina superior izquierda del gráfico se exhibe la masa expresada en términos de energía, cuya unidad es el electronvoltio, eV. La M representa MeV, es decir Mega y la G significa Giga. Por último 1 eV equivale a $1,6 \cdot 10^{-19}$ Julios de energía. Descendiendo hacia la esquina inferior derecha, se encuentra el valor del número espín. El espín es un número cuántico que denota el momento angular intrínseco de la partícula. Es importante señalar que este momento angular no se interpreta en el sentido clásico de rotación, sino como un valor cuantizado del momento, que solo puede ser $\frac{1}{2}$ o $-\frac{1}{2}$.

En la esquina superior derecha, resaltada en color verde, se presenta la carga eléctrica. Antes de la identificación de los quarks, la carga eléctrica solo adoptaba valores que eran múltiplos de la carga eléctrica del electrón, es decir, valores enteros. Sin embargo, los quarks exhiben valores de carga que no son múltiplos enteros de la carga del electrón, lo cual resultó revolucionario en su momento. No obstante, estos valores se ajustan perfectamente con el resto de partículas, incluyendo los protones y neutrones. Por ejemplo, el protón, como veremos más adelante con más detalle, está compuesto por dos quarks "up" y un quark "down", cuyas cargas suman exactamente +1, coincidiendo con la carga del protón. De manera similar, el neutrón se compone de dos quarks "down" y un quark "up", resultando en una carga neta de 0.

Finalmente, también en la esquina superior derecha, se presenta la carga de color, aplicable únicamente a los quarks y los gluones. Este concepto engendra toda una teoría en sí misma, conocida como **Cromodinámica Cuántica**. La carga de color puede concebirse como un tipo de carga, si bien su interpretación conlleva complicaciones adicionales en comparación con la carga eléctrica. Por ejemplo, la carga de color no consiste en valores escalares, sino que implica una gama de propiedades más complejas. Asociamos a esta carga de color tres colores (generalmente rojo, verde y azul) y sus correspondientes anticolores, aunque es importante destacar que esta nomenclatura carece de relación con el concepto de color en el sentido convencional, y simplemente se emplea como una representación simplificada de magnitudes físicas cuya formulación matemática es sumamente compleja. Estas magnitudes físicas condicionan la observación de quarks y gluones, que se encuentran confinados en estados sin carga de color, conocidos como hadrones (agrupación de 2 o 3 quarks). En términos más simples, solo es posible observar quarks cuando su agrupación resulta en la anulación del color (por ejemplo, identificamos el protón porque la carga de color de los tres quarks que lo componen se neutraliza, como se muestra en la figura 10).

Figura 10. Representación de colores en la Cromodinámica Cuántica en un protón. En el día a día, identificamos el neutrón (sin carga eléctrica), porque la carga de color de sus tres quarks se anula.



Una vez expuestas las propiedades que se representan en el Modelo Estándar (Figura 8), se puede dar comienzo con la clasificación de las partículas.

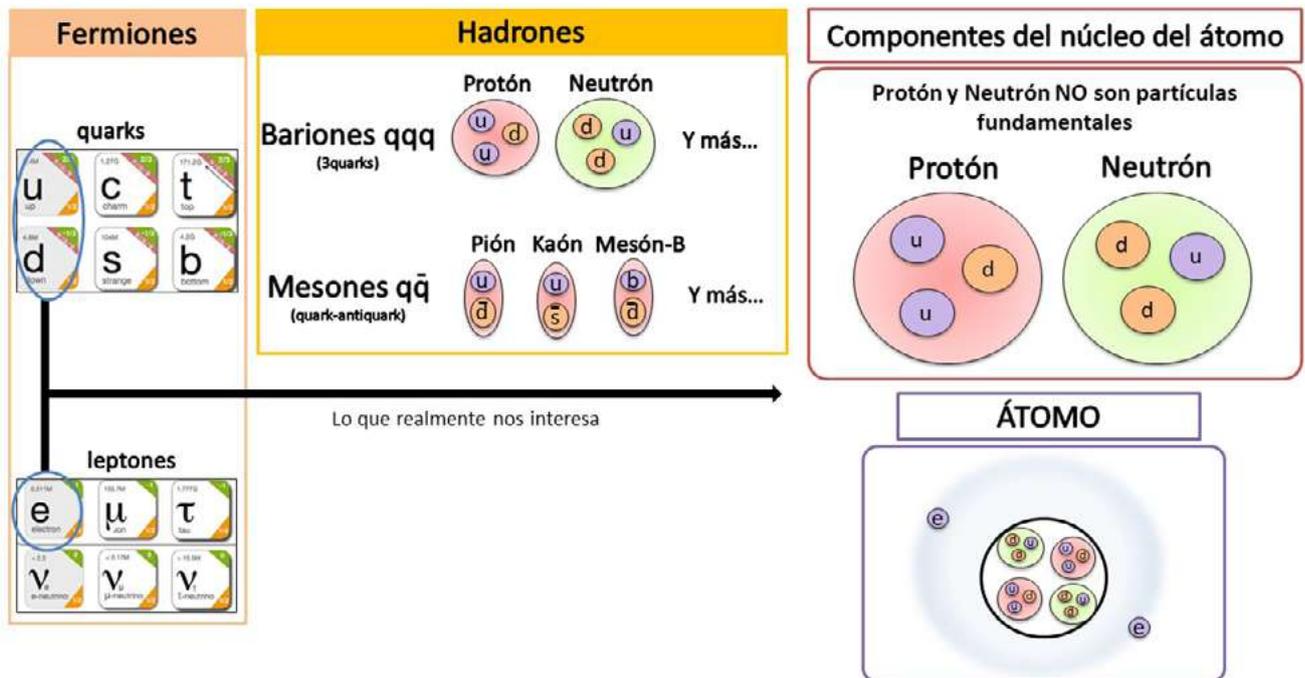
Una primera forma de distinguir las partículas fundamentales es entre fermiones y bosones. La principal diferencia radica en el número cuántico de espín, donde los fermiones presentan un espín semientero, mientras que los bosones poseen un espín entero. Los fermiones son partículas con masa mientras que los bosones son partículas mediadoras o de interacción.

FERMIONES

Dentro de esta categorización, los 12 fermiones se dividen en 6 quarks y 6 leptones, cada uno con su correspondiente antipartícula (como se observa en la figura 8). Es importante destacar que, como se aprecia en figura 11, la materia cotidiana está compuesta por combinaciones de 2 tipos de quarks (up y down) y 1 leptón (electrón). Esto es especialmente importante para el objetivo que plantea esta guía, que es trabajar la física de partículas en secundaria y bachillerato.

En la figura 11, se pueden identificar las partículas del modelo estándar que conforman los componentes del núcleo de los átomos (partículas no fundamentales) a partir de los quarks up y down (protón y neutrón) y la composición del átomo incorporando un leptón, que en este caso es el electrón.

Figura 11. Componentes fundamentales de la materia.



BOSONES

Por otro lado, están las partículas intermediarias de las interacciones o fuerzas fundamentales, los bosones (W⁺, W⁻, Z, g, H). ¿Qué implica exactamente ser una partícula intermediaria? En el marco de la mecánica cuántica, las fuerzas pueden ser interpretadas como intercambios de partículas mediadoras. Esta concepción difiere de lo que observamos en nuestra realidad clásica, donde no encontramos fenómenos análogos. Por consiguiente, aunque empleemos analogías, es clave recordar que nos movemos en el ámbito cuántico, donde las dinámicas no se asemejan a las observadas a nivel macroscópico (por ejemplo, las partículas no son corpúsculos, sino distribuciones de probabilidad).

Con este contexto en mente, podemos recurrir a una comparación con una situación clásica: dos personas montadas cada una en un monopatín y se pasan una pelota. En este escenario, al lanzar la pelota y al recibirla, se producen modificaciones en el estado de mo-

vimiento de cada persona (el que lanza se mueve debido al lanzamiento y de forma similar le ocurre a quien la recibe como resultado de las fuerzas implicadas. Estas alteraciones en el estado inicial y final son una analogía de lo que se observa en el mundo cuántico, lo cual lo interpretamos como una interacción con una partícula intermediaria, que, en nuestro caso, sería la pelota.

De esta manera, la interacción débil (responsable de la desintegración radiactiva) se explica mediante los bosones W y Z, la interacción fuerte (responsable de las fuerzas nucleares) mediante el gluón, la interacción electromagnética mediante el fotón, y la interacción gravitatoria mediante el hipotético gravitón.

Por otro lado, encontramos el bosón más famoso, el bosón de Higgs. El bosón de Higgs es una partícula elemental que desempeña un papel fundamental en el Modelo Estándar. Su descubrimiento en 2012 fue un hito trascendental en el campo de la física de partículas y le valió el Premio Nobel a los físicos Peter Higgs y François Englert. Este bosón es responsable de conferir masa a otras partículas elementales a través de lo que se conoce como el mecanismo de Higgs. Según esta teoría, el espacio está impregnado por un campo de Higgs, y cuando las partículas elementales interactúan con este campo adquieren masa. Cuánto más fuerte es la interacción de una partícula con el campo de Higgs, mayor será su masa. Desde el punto de vista educativo, este bosón no solo es importante por el tremendo conocimiento científico que nos aporta (no olvidemos que estamos dando explicación al mecanismo por el cual se crea la masa), sino por la posibilidad de trabajar el conocimiento relacionado con la propia **Naturaleza de la Ciencia**. Como hemos comentado, el descubrimiento del Higgs fue un verdadero hito para el conocimiento del ser humano y sucedió hace relativamente poco tiempo. Esto nos puede ayudar a mostrar que la ciencia está viva y en continua construcción, ya que ni mucho menos lo conocemos todo.

Y en relación con esta búsqueda de conocimiento, se puede hablar del, hipotético, gravitón. Esta partícula, definida teóricamente pero lejos de ser comprobada experimentalmente nos puede ayudar a mostrar que el Modelo Estándar no está acabado. Esto se debe a que la interacción gravitatoria no está incluida en el Modelo Estándar. Las fuerzas gravitatorias son minúsculas, hasta el punto de poder ser despreciadas, al trabajar en niveles atómicos. Por ejemplo, la interacción fuerte, la que mantiene los núcleos unidos, es 10^{39} veces mayor que la interacción gravitatoria, y por ello se desprecia. Esto implica que, con seguridad a nivel atómico y subatómico, existe la fuerza gravitatoria, pero es tan pequeña en comparación con las fuerzas que interactúan a esa escala, que no es posible tenerla en cuenta, y mucho menos, ser medida. De ahí que, se crea que exista una partícula mediadora para la interacción gravitatoria, al igual que para el resto de interacciones, pero que esta no puede ser medida por lo pequeña que es.

INTERACCIONES FUNDAMENTALES

Hablar del Modelo estándar, también implica hablar de las fuerzas fundamentales. Las fuerzas o interacciones fundamentales, son los mecanismos mediante los cuales las partículas elementales interactúan entre sí en el universo. Estas fuerzas son responsables de todas las interacciones observadas en el cosmos y son la base sobre la que construimos el conocimiento relativo a la estructura y el comportamiento de la materia a desde niveles subatómicos y a niveles cósmicos. En la figura 8, se muestran escritas en vertical a la derecha, recuadrando las partículas vinculadas. Las cuatro fuerzas fundamentales son:

1. La **fuerza electromagnética** es mediada por el **fotón**, y es responsable de las interacciones entre partículas cargadas eléctricamente, como los electrones y los protones. Esta fuerza es fundamental para entender fenómenos como la luz, la electricidad y el magnetismo.
2. La **fuerza débil** es responsable de la desintegración beta en procesos nucleares y está mediada por los **bosones W y Z**. Esta fuerza es la que nos permite explicar la estabilidad de los núcleos atómicos y los procesos de generación de energía en el sol y otras estrellas.
3. La **fuerza fuerte**, mediada por los **gluones**, es la responsable de mantener unidos a los quarks dentro de los protones y neutrones, y de la formación de partículas compuestas llamadas hadrones. Es la fuerza más fuerte a distancias cortas.

Figura 12.
Fuerzas fundamentales.

Reflexiones Didácticas como docentes:

¿Habría que saber las características de todas las partículas del Modelo Estándar?

¿Es interesante plantear preguntas de ciencia en el aula que estén en el límite actual del conocimiento?

¿Nunca un alumno o alumna ha preguntado...?:

- ¿No hay algo más pequeño que los protones y neutrones?
- ¿Si las cargas de distinto signo se atraen, por qué los electrones no caen al núcleo para estar con los protones?
- ¿Si las cargas del mismo signo se repelen, cómo pueden estar tan juntos los protones en el núcleo?

Tal vez no haya que saber todos los nombres de las partículas y sus propiedades, aunque sí puede ayudar tener presente que existen los quarks, que la agrupación de algunos de ellos, forman los protones y los neutrones, que no podemos encontrar los quarks en solitario, que no son bolitas, aunque los representemos así. Es probable que el alumnado haga preguntas que ni siquiera nosotros nos hayamos planteado, dado que nosotros ya estamos “encorsetados” a nuestro propio conocimiento y existan preguntas que las pasemos por alto. Trabajar el Modelo Estándar de partículas puede ayudar a resolver dudas en la comprensión básica de nuestro día a día, pero también es muy interesante trabajarlo en clase desde el punto de vista del planteamiento de preguntas que no podrán surgir en otros contextos: ¿por qué la materia se mantiene unida en unos casos y en otros no? ¿por qué no se puede atravesar una pared si los átomos están “casi vacíos” por dentro?, ¿Por qué la luz no pesa? ¿Y si no pesa, porque no puede escapar de los agujeros negros?

Como docentes, probablemente nos sorprenderíamos de las preguntas que nuestros estudiantes harían.

4. Finalmente, está la **fuerza gravitatoria**, que actúa a largas distancias y se cree que es mediada por el hipotético **gravitón**. Aunque no está incluida en el Modelo Estándar, la gravedad es una fuerza fundamental que gobierna el mundo macroscópico debido a la interacción entre masas.

Para aportar algunas características de cada una de ellas, se expone la figura 12, en las que se muestran las propiedades fundamentales de las fuerzas, y que pueden servir de ayuda para entender a fondo, el comportamiento de los fenómenos naturales desde un punto de vista físico.

Desde el punto de vista didáctico, conocer la existencia de estas fuerzas fundamentales es importante, dado que es únicamente a partir de estas cuatro fuerzas, sobre las que construimos todo lo demás. Por otro lado, este tema puede facilitar el planteamiento de preguntas que difícilmente saldrían en otros contextos.

INTERACCIONES FUNDAMENTALES					
Fuerte		Mantiene unido el núcleo	Fuerza 1	Rango (m): 10^{-15} Diámetro de un núcleo medio	Partícula intermediaria: gluón
Electromagnética		Repulsión y atracción entre cargas	Fuerza $1/137$	Rango (m): Infinito	Partícula intermediaria: Fotón
Débil		Desintegraciones radiactivas (decaimiento de núcleos)	Fuerza $6 \cdot 10^{-6}$	Rango (m): 10^{-18} 0,1% del diámetro de un protón	Partículas intermediarias: Bosones W^+ , W^- , Z_0
Gravitatoria		Atracción entre masas	Fuerza $6 \cdot 10^{-39}$	Rango (m): Infinito	Partícula intermediaria: ¿Gravitón?

LA ACTUALIDAD DE LA FÍSICA DE LAS PARTÍCULAS

La física de partículas no solo se puede trabajar en clase desde el punto de vista del saber-saber, es decir, el saber del contenido científico en sí mismo, sino desde la perspectiva de la naturaleza de la ciencia y el trabajo que hacen los científicos y científicas sobre el tema. En esta guía, mostramos unos pequeños comentarios al respecto, aunque se podría trabajar con mucha más profundidad y detalle, por ejemplo, detallando los distintos tipos de detectores de partículas, donde se encuentra cada uno de ellos, en qué se especializan los distintos experimentos, etc.

¿DÓNDE SE ESTUDIA LA FÍSICA DE PARTÍCULAS?

A nivel mundial, existen varios centros de investigación dedicados a este objetivo, cada uno con su propio enfoque, instalaciones y contribuciones únicas al avance del conocimiento científico.

Estos centros de investigación son epicentros de innovación y descubrimiento, donde científicos y científicas de muy diversas disciplinas y países colaboran en proyectos internacionales de gran envergadura. Desde los gigantes aceleradores de partículas hasta los sofisticados detectores subterráneos, estos centros están equipados con la tecnología más avanzada del mundo para llevar a cabo experimentos de vanguardia y desentrañar los secretos del universo.

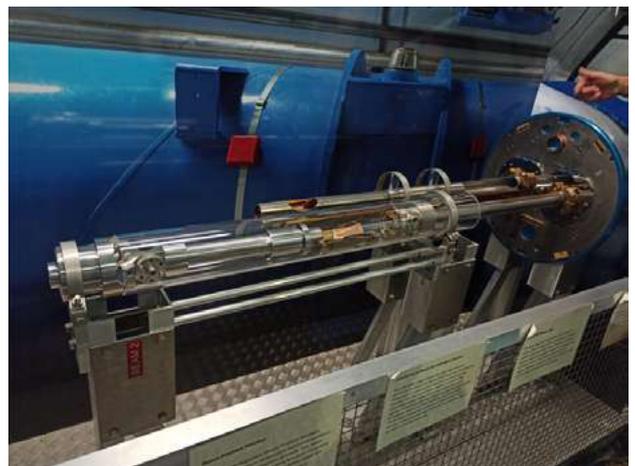
A nivel mundial, destacan el laboratorio **Fermilab** (Laboratorio Nacional de Aceleradores Fermi) situado en Illinois, Estados Unidos, Fermilab y es uno de los grandes centros de investigación de física de partículas. Entre otros proyectos, actualmente se destaca el experimento

DUNE (como la película), para estudiar neutrinos. También tiene relevancia el **KEK** (Organización de Investigación de Alta Energía y Física Nuclear) en Japón. Este centro alberga el Super-Kamiokande, el observatorio de neutrinos más grande del mundo (una piscina subterránea gigante)

Sin embargo, el que se considera más importante hasta el día de hoy, tanto por su desarrollo histórico como científico es el **CERN (Organización Europea para la Investigación Nuclear)**, situado en Ginebra, Suiza. Fue ideado por el físico francés Louis de Broglie y el físico suizo Charles Drummer en 1952, junto con un grupo de científicos visionarios de varios países europeos. El propósito inicial del CERN era establecer una organización de investigación cooperativa para promover el avance de la ciencia y la tecnología en el campo de la física de partículas y la energía nuclear en Europa. Desde sus primeros resultados, el CERN ha liderado numerosos avances científicos y tecnológicos que han revolucionado nuestra comprensión del universo. A más de 100 metros bajo tierra, se encuentra el Gran Colisionador de Hadrones (LHC), el acelerador de partículas más grande del mundo. Este colosal instrumento científico, con un anillo subterráneo de 27 kilómetros de circunferencia, permite a las científicas y científicos llevar a cabo experimentos de colisión de partículas a muy altas energías para generar partículas desconocidas y poder detectarlas con cuatro grandes detectores (ATLAS, CMS, LHCb y ALICE). Uno de los hitos más destacados del CERN, ya lo hemos mencionado, y fue el descubrimiento del bosón de Higgs en 2012. Este hallazgo fue posible gracias a los experimentos realizados en el LHC. Además de sus contribuciones fundamentales a la física de partículas, el CERN es un ejemplo sobresaliente de colaboración científica internacional. Científicos y científicas de todo el mundo trabajan juntos en proyectos de investigación en el CERN, compartiendo conocimientos, recursos y tecnologías en un esfuerzo por avanzar en el conocimiento humano. El CERN también es un centro de innovación tecnológica, donde se desarrollan y aplican tecnologías de vanguardia en campos como la informática, la ingeniería de aceleradores y la detección de partículas. Estas tecnologías no solo benefician a la comunidad científica, sino que también tienen aplicaciones prácticas en la medicina, la industria y otros sectores. Por ejemplo, en el CERN se ideó el acceso a internet a partir de la triple www.

Figura 13. Fotografías de una sección de los aceleradores del CERN en desuso (izquierda) y del corte transversal de una de estas secciones para mostrar a los visitantes del CERN.

Finalmente, el CERN tiene un fuerte compromiso con la divulgación de la ciencia y la democratización del conocimiento científico. Y entre otros muchos programas, existen programas específicos para que profesorado de todo el mundo puedan recibir una formación dentro de las instalaciones, siendo posible visitar los distintos detectores, experimentos, laboratorios, etc.



En España, también hay diferentes centros de investigación dedicados a la física de partículas. Por ejemplo, destaca el sincrotrón ALBA, un acelerador de partículas ubicado en la provincia de Barcelona, a través del cual se realizan experimentos de física de materiales, nanotecnología o biomedicina.

En la Comunidad Autónoma de Aragón, se encuentra el **Laboratorio Subterráneo de Canfranc (LSC)**. Este es un proyecto científico ubicado en el túnel ferroviario de Canfranc, en la provincia de Huesca y está dedicado a la investigación en diversas áreas, incluyendo la física de partículas, la astrofísica, la geología y la biología. Una de las características más destacadas del LSC es su ubicación subterránea, que proporciona un entorno libre de

radiaciones externas, como la radiación cósmica, que pueden afectar a los experimentos sensibles. Esto lo convierte en un lugar ideal para llevar a cabo investigaciones que requieren condiciones controladas y precisas. El LSC alberga una variedad de experimentos científicos en curso, incluyendo estudios sobre la materia oscura, neutrinos, radiación cósmica y geología subterránea. Estos experimentos utilizan equipos sofisticados y tecnología de vanguardia para recopilar datos y realizar mediciones precisas en un entorno subterráneo único. Además de su importancia científica, el LSC también juega un papel importante en la colaboración con la Universidad de Zaragoza y también con colaboraciones de alcance internacional en investigación.

De manera similar al CERN, este laboratorio también plantea un compromiso con el desarrollo científico de ámbito regional, poniendo a Aragón el foco de la investigación sobre física de partículas a nivel nacional e internacional. A su vez, este compromiso es fomentado a través de la divulgación científica, ya que este centro de investigación también puede ser visitado tanto por parte del profesorado como por el alumnado. Supone una oportunidad única con la que cuentan los docentes de la comunidad autónoma de Aragón.

Figura 14.
Entrada al Laboratorio Subterráneo de Canfranc (izquierda) y "Hall A" del laboratorio.



APLICACIONES VINCULADAS A LA FÍSICA DE LAS PARTÍCULAS

La física de partículas parece un campo abstracto, complejo y sobre todo, alejado de nuestra vida cotidiana. Sin embargo, tiene un impacto importante en nuestro día a día. En algunos casos, este impacto tiene como origen la comprensión teórica y experimental de la naturaleza de la materia en sí misma, es decir, el conocimiento científico en su más puro estado. Pero también, la necesidad de mejorar los experimentos en los centros de investigación, propician innovaciones y aplicaciones tecnológicas que finalmente tienen un impacto directo en nuestro día a día. Por ejemplo: ¿quién no ha realizado una búsqueda en internet o quien no tiene una pantalla táctil en casa?

La invención de la World Wide Web (WWW) es un ejemplo sobresaliente del impacto de la física de partículas en nuestra vida cotidiana. En 1989, el físico británico Tim Berners-Lee desarrolló el concepto de la WWW mientras trabajaba en el CERN, para poder tener una comunicación más fluida con otros investigadores e investigadoras. A partir de esta idea, se pudo crear una red global de información que revolucionó la forma en la que podemos acceder y compartir conocimiento en todo el mundo.

Por otro lado, las pantallas táctiles fueron desarrolladas inicialmente por los científicos Bent Stumpe y Frank Beck en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN) a fines de la década de 1970. Fueron utilizadas inicialmente para el control de pantallas gráficas en sistemas de monitoreo de aceleradores de partículas. Esta tecnología posteriormente se adaptó y refinó para su uso en dispositivos electrónicos de consumo, como teléfonos táctiles o las tablets.

Figura 15. Fotografía de la placa colocada en la puerta del despacho en el que se ideó la web tal y como la conocemos hoy en día.



Los aceleradores de partículas también se utilizan en la industria para abordar problemas ambientales, como la limpieza de vertidos de petróleo. Al acelerar partículas cargadas, estos dispositivos generan haces de radiación que pueden descomponer los contaminantes en productos más seguros y menos dañinos para el medio ambiente, ayudando así en la recuperación de áreas afectadas por derrames de petróleo y otros desastres industriales.

Finalmente, en medicina, hay una amplia gama de aplicaciones con origen en la comprensión del átomo y la materia. Algunas de estas aplicaciones son ya históricas, como por ejemplo los rayos X o la radioterapia. Ahora bien, se siguen diseñando nuevos tratamientos, por ejemplo, la protonterapia. Este tratamiento médico es utilizado en la lucha contra el cáncer y consiste en la utilización de haces de protones acelerados para irradiar tumores de forma precisa y eficaz, minimizando el daño a los tejidos circundantes. Gracias a la física de partículas, la protonterapia ofrece una alternativa menos invasiva y con menos efectos secundarios que los tratamientos tradicionales de radioterapia. Esta técnica es combinada con lo que se conoce como “haces mixtos”, que consisten en la terapia y diagnóstico al mismo tiempo.

Ahora bien, todas estas aplicaciones y tecnologías no deben sustituir el verdadero objetivo de la investigación de la física de partículas, que es ampliar nuestro conocimiento del Universo, porque hoy en día, seguimos sin entender gran parte del mismo.

LO QUE NOS QUEDA POR SABER

El Modelo Estándar está considerada la teoría de mayor alcance y profundidad desarrollada por el ser humano. Sin embargo, es impactante saber que, la fracción de la densidad del Universo que viene definida por física más allá del Modelo Estándar representa el 99,85% del Universo.

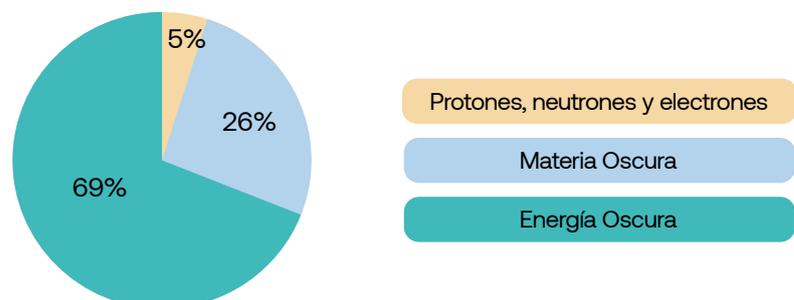
Por otro lado, sabemos que solo el 5% del Universo se compone de protones, neutrones y electrones, mientras que el 26 % se compone de algo que llamamos materia oscura y el 69%, energía oscura, conceptos asociados a algo que sabemos que existe, pero no logramos comprender ni detectar.

Por eso, a día de hoy, la física de partículas sigue siendo un campo de conocimiento en pleno desarrollo. Prueba de ello, siguen siendo los proyectos de investigación aprobados en el que se invierten para seguir ampliando las fronteras de conocimiento. Por ejemplo, en octubre de 2023 se concedieron 13 millones de euros por parte de la Unión Europea para un proyecto de investigación sobre la materia oscura en la Universidad de Zaragoza (El Periódico de Aragón, 2023).

Reflexión Didáctica:

Probablemente hayamos escuchado en más de una ocasión en clase: “¿Y todo esto para qué sirve?” o también a algún conocido decir “No se debería gastar tanto en investigación”. La física de partículas y su desarrollo histórico es un ejemplo ideal para trabajar la relación entre ciencia, tecnología y sociedad de la manera más clara y directa. A partir de predicciones puramente teóricas, se intentan realizar complejos experimentos que las demuestren y una vez encontrados los resultados, se da pie a realizar aplicaciones directas. Por el camino, se han diseñado otra multitud de aplicaciones que eran necesarias en el proceso y que finalmente también han sido trasladadas al día a día de todos nosotros y todas nosotras.

Figura 16. Proporciones en la composición del Universo.



Conocimiento del contexto. ¿Aparecen las partículas en el currículum?

Una de las razones que puede influir en la docencia de la física de partículas en las aulas de secundaria o bachillerato es su aparición, en el currículum. Realizar un análisis detallado de ello, escapa al objetivo de esta guía, sin embargo, si se cree necesario incluir una breve reflexión.

La primera aproximación al currículum se debe hacer a partir de la legislación a nivel nacional. La introducción de la nueva Ley Educativa, LOMLOE (Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre, por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación). Al realizar una búsqueda primaria en los Sabes Básicos de la asignatura de Física y Química en Educación Secundaria, se identifican algunos contenidos de los que se han mencionado hasta este momento en esta guía. En el caso de los cursos de 2º y 3º de ESO, aparece en.

- Bloque B. La Materia, se cita: *“estructura atómica: desarrollo histórico de los **modelos atómicos**, existencia, formación y propiedades de los isótopos y ordenación de los elementos en la tabla periódica”*
- Bloque D. La interacción, se cita: *“Fenómenos gravitatorios, eléctricos y magnéticos: experimentos sencillos que evidencian la relación con las **fuerzas de la naturaleza**”*

En estos cursos, se habla de modelos atómicos, incluyendo la presencia de isótopos, lo que implica hablar de la estructura interna del átomo. Por otro lado, se citan las fuerzas de la naturaleza, aunque únicamente se habla de gravitatorias, eléctricas y magnéticas.

En la asignatura de Física y Química de 4º de ESO, aparece contenidos relacionados de una forma más explícita:

- Bloque B. La Materia, se cita: *“Modelos atómicos: desarrollo histórico de los principales **modelos atómicos clásicos y cuánticos y descripción de las partículas subatómicas, estableciendo su relación con los avances de la física y la química**”*

En esta parte se habla de describir las partículas subatómicas y su relación con los avances de la física y la química. Esto permite tener un marco curricular en el que trabajar la física de partículas con la profundidad que se estime oportuna. Por otro lado, estamos trabajando desde la perspectiva de trabajar los contenidos sobre física de partículas, sin embargo, también es posible trabajar el Bloque A. Destrezas científicas básicas, en el que el contexto de las actividades a desarrollar sea la física de partículas.

En el caso particular del Currículo de la Comunidad Autónoma de Aragón (ORDEN ECD/1172/2022), la presencia de la física de partículas es muy similar a la ley nacional.

En el caso de Bachillerato, en concreto en la asignatura de Física de 2º de Bachillerato es en la que se tratan con mayor profundidad algunos de los temas tratados en esta guía. En la figura 17, se resaltan estos contenidos.

En estos contenidos incluso se detalla el Modelo Estándar, las clasificaciones de partículas, En estos contenidos incluso se detalla el Modelo Estándar, las clasificaciones de partículas, las interacciones fundamentales incluyendo las partículas mediadoras y finalmente se introducen los aceleradores de partículas como contenido.

En el currículum de esta misma asignatura en la Comunidad Autónoma de Aragón (ORDEN ECD/1173/2022), estos contenidos también aparecen de forma nítida, como se puede observar en la figura 18.

Figura 17. Contenidos sobre física de partículas y el Modelo Estándar en la asignatura de Física de 2º de bachillerato, en la LOMLOE en el ámbito nacional.

D. Física relativista, cuántica, nuclear y de partículas

- Principios fundamentales de la Relatividad especial y sus consecuencias: contracción de la longitud. dilatación del tiempo, energía y masa relativistas.
- Dualidad onda-corpúsculo y cuantización: hipótesis de De Broglie y efecto fotoeléctrico. Principio de incertidumbre formulado en base al tiempo y la energía.
- **Modelo estándar en la física de partículas. Clasificaciones de las partículas fundamentales. Las interacciones fundamentales como procesos de intercambio de partículas (bosones). Aceleradores de partículas.**
- Núcleos atómicos y estabilidad de isótopos. Radiactividad natural y otros procesos nucleares. Aplicaciones en los campos de la ingeniería, la tecnología y la salud.

Figura 18. Contenidos sobre física de partículas y el Modelo Estándar en la asignatura de Física de 2º de bachillerato, en la Comunidad Autónoma de Aragón.

Conocimientos, destrezas y actitudes

Principios de la relatividad, de la Física cuántica y de la Física de partículas en el estudio de las principales partículas involucradas en la Física atómica y nuclear: propiedades e interacciones. Implicaciones de la dualidad onda-corpúsculo y del principio de incertidumbre

Orientaciones para la enseñanza

El último sub-bloque afronta el estudio de la Física nuclear y de partículas. Analizar el núcleo de los átomos va a permitir desarrollar los principios de la radiactividad (tipos de radiactividad, efectos y aplicaciones), las fuerzas nucleares (energía de enlace, reacciones nucleares y las aplicaciones y los efectos de las mismas en la sociedad) y finalmente una introducción a la Física de partículas (modelo estándar y caracterización de algunas de las partículas fundamentales como los neutrinos o el reciente bosón de Higgs).

Por otro lado, en el caso de Aragón también se citan algunos centros de investigación dedicados al estudio de las partículas como por ejemplo el CERN y el LSC, ambos tratados en esta guía. También ofrece la posibilidad de trabajar este contenido introduciendo noticias de prensa sobre el tema:

“La vigencia y actualidad de dichas investigaciones puede ser llevada al aula mediante noticias relacionadas con los últimos descubrimientos y avances científicos de este campo asociados a los principales centros y agencias de investigación transnacionales como el CERN, la NASA o el ITER, y también aquellos ubicados en la comunidad autónoma de Aragón como por ejemplo el LSC (Laboratorio Subterráneo de Canfranc) o el INMA (Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón).” (ORDEN ECD/1173/2022)

En definitiva, esta breve búsqueda en los currículos nacional y autonómico (en el caso de Aragón), justifica la posibilidad de trabajar la física de partículas con un contexto curricular para el caso de educación secundaria y muestra la “obligatoriedad” en términos curriculares de trabajarlo, para el caso de 2º de Bachillerato.

Conocimiento didáctico. ¿Cómo trabajar en el aula?

Trabajar la física de partículas en secundaria o bachillerato no está limitado al ámbito teórico, sino que puede ser extendido a la realización de actividades prácticas y experimentales. En esta guía, planteamos la posibilidad de usar una cámara de niebla como objeto didáctico para poder trabajar de manera experimental la física de partículas. Podemos pensar que se va a fabricar un instrumento científico cuyos fundamentos son exactamente los mismos que las cámaras de niebla originales de la primera mitad del siglo XX, con las que se descubrieron partículas como el muón, detectado a partir de los rayos cósmicos o el positrón, tal y como hemos mencionado antes, que confirmó la existencia de la antimateria. A su vez, este instrumento permite observar la presencia de partículas en nuestro día a día, que de otra forma no sería posible. Así, se podrán observar las trazas de las partículas dejan al atravesar la cámara de niebla.

Por otro lado, al hacer uso de la cámara de niebla como instrumento de detección de partículas vamos a poder tratar con el alumnado la identificación y diferenciación entre las distintas trazas. Esto permite que el alumnado observe a nivel macroscópico, fenómenos que están ocurriendo a nivel manoscopio. Al mismo tiempo, según el tipo de traza que se observa, se podrán relacionar entre el conocimiento teórico de cómo entendemos las partículas y lo observado en la cámara de niebla, según las características del rastro que dejan las partículas.

Finalmente, el uso de la cámara de niebla, se enfoca como un instrumento que no solo sirve para trabajar la física de partículas, sino muchos otros aspectos que son requeridos para su fabricación. De esta forma, preguntas como, ¿qué características debe tener una cámara e niebla?, ¿por qué usar unos materiales concretos?, ¿qué está ocurriendo para poder ver partículas?, y otras muchas, ofrecen la oportunidad de hacer ciencia en el aula con los y las estudiantes.

En la web, hay múltiples fuentes sobre las que partir para construir la cámara de niebla. La construida a continuación surge de las anotaciones tomadas en una formación para docentes realizada en el CERN. Al mismo tiempo, han sido fundamentales las anotaciones recogidas en el trabajo de Barradas-Solas & Alameda-Meléndez (2010), en que se detallan algunos de los aspectos que aquí se van a mencionar. No obstante, cada cámara de niebla es única y las condiciones pueden cambiar de manera repentina con cualquier modificación. Por ello, en esta guía, se expone el funcionamiento básico de la cámara de niebla que nosotros hemos construido y algunas de las dificultades que hemos podido encontrar y la forma en la que las hemos resuelto.

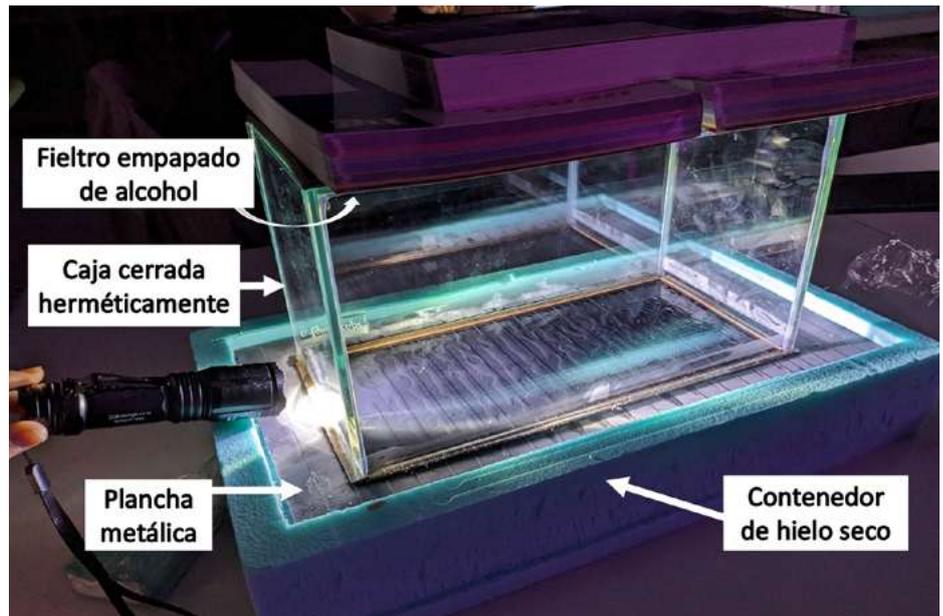


Figura 19.
Cámara de niebla ya montada
para empezar a observar.

Construcción de la cámara de niebla

Contenidos web del taller ¿Podemos ver partículas elementales? Fabricación y uso de una cámara de niebla



FUNCIONAMIENTO BÁSICO

El funcionamiento básico de la cámara de niebla (figura 19) consiste en una caja transparente a la que le falta el cierre. Esta caja se coloca hacia abajo sobre una plancha metálica de forma que queda herméticamente cerrada. En su interior, con ayuda de un fieltro empapado en alcohol colocado en la parte superior, hay una mezcla de aire y alcohol. La parte inferior de la caja se mantiene a una temperatura muy baja, en torno a los -30°C . Esto se consigue manteniendo el lado de la caja que está cerrado con la plancha metálica, en contacto con algo que consiga bajar hasta la temperatura mencionada. En nuestro caso, el material que utilizaremos para ello es dióxido de carbono sólido. A este material también se le conoce como hielo seco. El hielo seco está a una temperatura aproximada de -80°C , por lo que, al estar en contacto con la plancha metálica, se consigue que esta se enfríe hasta la temperatura necesaria por su lado interior. Es necesario bajar hasta esas temperaturas para conseguir que, en una superficie cercana a la plancha metálica, exista una capa de vapor de alcohol que está por debajo de su temperatura de condensación. Esto significa que el alcohol está en un estado inestable, de forma que cualquier pequeña perturbación del mismo provoca que condense y pase a estado líquido.

Con la cámara de niebla, lo que pretendemos es que el paso de partículas cargadas por la zona en la que el alcohol está en estado inestable, provoquen que este condense y de esa forma, podamos observar una traza de pequeñas gotitas del alcohol. Esta será la forma en la que observemos el paso de partículas.

En la figura 19, se puede observar una de las cámaras de niebla que se han construido y utilizado en el taller de profesorado del que nace esta guía didáctica, indicando las partes fundamentales de la misma (Rodríguez-Casals y Cabero (2024). Ahora bien, a pesar de ser un instrumento sencillo de construir y en el que se utilizan unos materiales fáciles de conseguir, surgen una serie de pequeñas complicaciones que no lo hacen algo tan inmediato.

En este sentido, en los siguientes apartados se intentará exponer con mayor detalle tanto la especificidad de los materiales utilizados como la forma en la que se ha construido la cámara de niebla.

MATERIALES

En este apartado se exponen los materiales necesarios para la fabricación de nuestra cámara de niebla casera. En primer lugar, se exponen los materiales que no fungibles y que nos servirán para futuras ocasiones. Por otro lado, se exponen los materiales fungibles que sabemos que se usarán en la utilización de la cámara de niebla.

Contenedor de Hielo Seco:

El contenedor de hielo seco será el recipiente en el que pondremos el hielo seco y sobre el colocaremos la plancha metálica. El material del que está hecho el recipiente no requiere de unas características especiales, aunque es óptimo que sea buen aislante térmico para que podemos mantener el hielo seco el máximo tiempo posible. Un buen material y de fácil acceso es el poliestireno expandido o poliespán. Sería posible utilizar una caja de este material y adaptarla para colocar el hielo seco y sobre el mismo, colocar la placa metálica. En nuestra cámara de niebla hemos usado Poliestireno extruido XPS. Que se puede comprar en cualquier gran superficie de construcción.

Plancha metálica:

El material de las planchas metálicas no necesita tener unas características especiales más allá de ser buen conductor térmico, en este caso, para lograr que se enfríe lo máximo posible al entrar en contacto con el hielo seco. El producto que se ha adquirido para nuestras cámaras de niebla se vende como "chapa negra" de 1,5mm de espesor. Esta chapa está construida en acero. Al utilizar este material para montar la cámara de niebla nos encontramos con algunas dificultades. En primer lugar, al comprar el material directamente desde una herrería, este viene con mucha suciedad, por lo que se recomienda limpiarlo a fondo para evitar que esa suciedad vaya a parar al contenedor de hielo seco. Por otro lado, cuando se estaba haciendo uso de la cámara de niebla, se observó que, al entrar en contacto con el alcohol, se producía una reflexión de la luz en la superficie del metal que impedía poder observar de manera óptima las trazas de las partículas. Para resolver esta cuestión, se utilizó cinta aislante de color negro, de manera que se evitaban los reflejos mencionados y se podía realizar una observación más cómoda.

Recipiente para la pecera:

Los recipientes para las cámaras de niebla fueron peceras de vidrio. Estos recipientes tampoco tienen por que ser de un material específico, sin embargo, si que hay ciertas variables que influyen en la observación de partículas. Se encuentra en la bibliografía algunas cámaras de niebla que se construyen con recipientes de metacrilato. Este material en un principio puede ser de utilidad, sin embargo, al estar en continuo contacto con el alcohol, que en concreto es un alcohol específico (isopropanol) acaba provocando que el metacrilato se desgaste y poco a poco se vaya volviendo más opaco. Por otro lado, se recomienda que el recipiente sea paralelepípedo, dado que en superficies con curvas no siempre se observa bien debido a los reflejos de la luz. Las peceras o recipientes a utilizar, deben tener una de sus caras abiertas, para poder acceder al fondo y después poder taparlo con la chapa metálica.

Filtro:

En el fondo de la pecera hay que colocar el depósito de alcohol, que será un trozo de fieltro. Al igual que con el resto de componentes, el fieltro no requiere de unas características especiales. Únicamente debe poder absorber el alcohol, para que una vez coloquemos hacia abajo la pecera, con el fieltro empapado de alcohol, el alcohol se vaya evaporando y cayendo hacia la parte inferior de la cámara de niebla.

Linterna:

Para una observación óptima de las trazas, será necesario una linterna que tenga suficiente potencia. Con fuentes de luz no demasiado potentes, lo que ocurre es que gran parte de la luz es reflejada por el compartimento de la cámara de niebla. Por ejemplo, en nuestro caso hemos hecho uso de la linterna del teléfono móvil y no se logran observar con la nitidez que si se hace uso de una linterna de mayor potencia. Una vez expuestos los materiales no fungibles y que podremos seguir utilizando, se exponen los materiales que es necesario conseguir cada vez que se pretende utilizar la cámara de niebla.

Alcohol isopropílico o Isopropapal puro:

Para crear la niebla dentro de la cámara de niebla, se usa este material. En este caso, es importante utilizar este tipo de alcohol, dado que no funciona con todos los alcoholes. En concreto, el isopropanol tiene una temperatura de condensación adecuada para poder crear una atmósfera saturada de alcohol. A su vez, tiene una energía de ionización lo suficientemente baja para que, tras el paso de una partícula cargada, el alcohol condense y se creen pequeñas gotitas, que son las que nos permiten observar las trazas de las partículas. Por otro lado, el alcohol utilizado para la fabricación de nuestras cámaras de niebla ha sido de una pureza del 99,99% y han funcionado sin complicaciones.

Hielo seco (CO2 sólido):

El hielo seco se utiliza por su temperatura en estado sólido, aproximadamente -80°C . Al utilizar este material, logramos enfriar la plancha metálica hasta una temperatura inferior a la temperatura de condensación del isopropanol. La cantidad necesaria para una cámara de niebla de dimensiones aproximadas de $20 \times 15 \times 20$, será de unos 2kg máximo para una duración óptima de unas 2 horas. Se pueden comprar hielo seco en distintas formas: planchas, macarrones o escamas. Eso no afecta en especial al funcionamiento de la cámara únicamente, tendremos que tener en cuenta que la superficie de contacto entre la plancha metálica y el hielo seco debe ser la máxima posible para lograr un enfriamiento óptimo.

Por otro lado, para conservar el hielo seco, lo podemos hacer directamente en las cajas de material aislante en las que lo proveen. A su vez, si podemos guardar dichas cajas en un congelador comercial (temperatura mínima de -20°C aproximadamente), 10kg de hielo seco llegan a conservarse hasta 2 días, aunque, lógicamente, disminuyendo su cantidad paulatinamente. Finalmente, el hielo seco, suele ser el material más complejo de conseguir. Sin embargo, existen numerosos proveedores de este material y te lo suministran el día en que lo necesitas. Por ejemplo, en la fabricación de nuestras cámaras de niebla hemos comprado hielo seco a algunos de estos proveedores: San Lamberto 2000, Air Liquide, Carburros Metálicos, Linde.

Figura 20.
Filtro pegado al fondo y burlete colocado en los bordes.

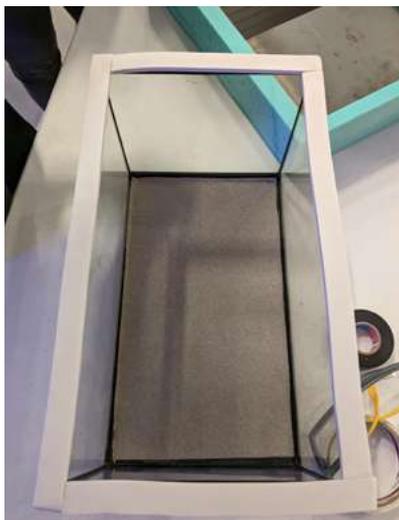


Figura 21.
Utilización del hielo seco para la cámara de niebla.



MONTAJE DE LA CÁMARA DE NIEBLA

01 Colocación del filtro

El primer paso en la construcción de la cámara de niebla, será recortar un trozo de filtro que sea del tamaño similar al del fondo del recipiente que utilizamos como cámara de niebla. Dadas las distintas pruebas realizadas, recomendamos que se recorte con medio centímetro de más aproximadamente por cada lado. El motivo de este tamaño adicional es que podamos encajarlo en el fondo y que al pegarlo, también exista cierta sujeción física por ese exceso de filtro. Para sujetar el filtro al fondo, podemos utilizar diferentes métodos. En nuestras cámaras de niebla, al ser de vidrio y no tenerlas agujereadas hemos utilizado la sujeción con pegamentos. En nuestro caso, hemos utilizado cinta de doble cara, silicona de temperatura, velcro, pegamento instantáneo, y pegamento de tipo “epoxi”. Los mejores resultados se han obtenido con la cinta de doble cara y el pegamento “epoxi”. Con el velcro y la silicona de temperatura, el velcro ha aguantado solo un tiempo tras ser empapado con el isopropanol. En el caso del pegamento instantáneo, se disolvía al instante y se despegaba, al igual que con el pegamento de los dos lados del velcro. En el caso de la cinta de doble cara ha aguantado varias sesiones sin problemas, aunque cuando la cámara de niebla era muy grande, también hemos tenido casos en los que se ha despegado.

02 Revisión de los bordes de la cámara para crear un compartimento estanco

Una vez se ha colocado el filtro, y antes de colocar el hielo seco, es necesario asegurarse de que cuando coloquemos el recipiente transparente que utilizaremos como cámara de niebla sobre la plancha metálica, este tiene la forma necesaria para que quede aislado del exterior. Existen diferentes opciones. Una de ellas puede ser la colocación de un burlete sobre el borde, de manera que al colocarla contra la chapa metálica quede aislada. Otra opción es colocar plastilina por los bordes exteriores una vez se ha colocado la cámara de niebla. En la figura 20, se puede observar una cámara con burlete puesto.

03 Limpieza de la cámara

El montaje de la cámara de niebla debe comenzar por intentar limpiar lo mejor posible las paredes interiores y exteriores del cuerpo de la cámara de niebla para posteriormente poder observar con la máxima nitidez que las condiciones me permitan.

04 Colocación del hielo seco

Para manipular el hielo seco se recomienda extremar precauciones para evitar quemaduras por su contacto con la piel. Para ello, haremos uso de guantes para trabajar en temperaturas criogénicas y gafas de laboratorio. Ahora bien, la utilización de guantes específicos no es estrictamente necesario siempre y cuando no se mantenga el hielo sobre la piel durante demasiado tiempo. A su vez, nos podremos ayudar de una pala metálica para poner el hielo seco sobre el recipiente (figura 20). La cantidad de hielo seco que hay que colocar depende del tamaño de nuestros recipientes. Recomendamos, que se ponga una capa algo más elevada del hielo de la chapa metálica, para después poder apretar la chapa contra el hielo y hacer que este bajo y que la superficie de contacto sea máxima.

05 Colocación de la plancha metálica

La colocación de la plancha metálica es uno de los pasos decisivos en la construcción de la cámara de niebla, ya que, es necesario conseguir el máximo de superficie de contacto entre la plancha metálica y el hielo. Para ello, colocaremos hielo seco hasta el borde en el que se coloca la placa, teniendo en cuenta, que se puede añadir algo más, para después “aplastarlo con la chapa metálica”. Una vez tenemos esa cantidad de hielo, colocamos la placa y aplicamos toda la fuerza que podamos sobre la misma. En ese momento, se escuchará un “chillido” muy agudo provocado por el contacto entre la chapa metálica y

Reflexión Didáctica:

Al realizar la observación de las partículas nos encontramos con la posibilidad de hacer visible lo invisible, evidenciando la existencia de partículas que están presentes en nuestro día a día.

Al mismo tiempo, lo hacemos sin intermediarios electrónicos, lo que permite al estudiante tener la experiencia de participar en la construcción de un detector cuyo funcionamiento básico es exactamente el mismo que las primeras cámaras de niebla, con las que, por ejemplo, se descubrió la antimateria.

Finalmente, yendo más allá de la observación, se pueden plantear una serie de preguntas relacionadas con la misma observación: ¿observamos verdaderamente partículas?, ¿todas son iguales?, ¿a qué se pueden deber las diferencias?, ¿podemos observar todo tipo de partículas?, ¿qué característica fundamental deben tener? ¿podemos manipularlas por ejemplo con imanes?... Y otras muchas preguntas que pueden surgir y que permiten al alumnado zambullirse en el mundo la investigación científica.

Figura 22. Ejemplo de algunas trazas observadas con la cámara de niebla. Arriba a la izquierda y abajo, corresponden a trazas de electrones, mientras que arriba a la derecha corresponde a un protón.

el hielo. En nuestro caso, utilizamos el nivel del sonido como un indicador de que se está produciendo suficiente contacto entre la chapa y el hielo, de manera que, “mientras más se escucha el sonido, mejor contacto se está produciendo”. El motivo por el que se produce este sonido es la vibración del metal provocada por el paso a estado gaseoso del hielo seco cuando entra en contacto con la plancha metálica.

06 Uso del alcohol isopropílico

En este momento es necesario impregnar el fieltro con alcohol isopropílico. Para ello, podemos hacer uso de una botella de lavado de laboratorio, intentando evitar que al empapar el fieltro, se manchen las paredes. La cantidad de isopropanol utilizado depende tanto de las dimensiones de la cámara como del tipo de fieltro utilizado. La clave está en empaparlo bien, y en recoger el isopropanol sobrante. Una vez se ha hecho este paso, se vuelven a limpiar las papeles con un papel, para evitar reflejos por las posibles gotas de isopropanol. También resulta de ayuda, poner algo de alcohol a lo largo de todo el borde de la cámara para que al colocarla en la plancha metálica haga efecto de ventosa.

07 Colocación de cámara sobre la placa metálica

Ahora se le da la vuelta a la cámara de niebla y se coloca sobre la plancha metálica. Podemos ejercer algo de presión, para evitar que se produzcan fugas. También se recomienda colocar peso sobre la cámara para evitar este mismo problema.

OBSERVACIÓN DE LAS TAZAS

Una vez llegado este momento, solo nos queda esperar que las condiciones sean las idóneas para conseguir observar las partículas. En primer lugar, se debe tener algo de paciencia y esperar en torno a 10/15 minutos para que la placa metálica alcance la temperatura adecuada y así se empiece a formar la niebla en la parte inferior de la cámara. Una vez pasado ese tiempo, deberíamos empezar a observar las trazas de las partículas.

En la observación in situ (figura 22), se podrán identificar sin dificultad cientos de trazas por minuto sin ningún tipo de problema.



POSIBLES DIFICULTADES Y SOLUCIONES

En la bibliografía encontrada en la web sobre las cámaras de niebla, se suele mostrar este tipo de detector como un instrumento muy sencillo de construir. La realidad, es que en nuestro caso hemos podido comprobar que efectivamente es muy sencillo de construir, pero son múltiples las variables que influyen y que pueden afectar para que no se pueda realizar una observación. En este sentido, creemos que es sencillo de construir, pero no tanto de calibrar las condiciones óptimas para su correcto funcionamiento.

En el caso en el que no lleguemos a observar trazas, podremos fijarnos en los siguientes parámetros para intentar corregirlos:

El compartimento de la cámara está estanco:

Es necesario asegurarse de que no entra aire del exterior o sale del interior de la cámara de niebla. Cuando las condiciones de observación son buenas, es muy sencillo observar cuando entra aire, dado que se ve como una gran nube que penetra en nuestra cámara. En ese caso, es sencillo identificar el problema y cubrir la ranura, por ejemplo, con plastilina. El problema mayor es cuando desde un principio está abierta por algún hueco, dado que eso no va a permitir que se genere la niebla correctamente. Para ello, debemos asegurarnos de que está completamente cerrada. Se puede tapar todo el borde con plastilina en caso de que tengamos dudas.

Gradiente de temperatura adecuado:

Según nuestra experiencia es uno de los factores más importantes para poder observar las trazas. Es posible que se haya creado una niebla que vemos en forma de gotitas, pero sin embargo no se detectan partículas. Esto puede deberse a que la plancha metálica no se ha enfriado lo suficiente, posiblemente porque no está haciendo el suficiente contacto con el hielo seco. Esta situación se detecta cuando se empieza a observar en la plancha metálica se observa que hay bastante alcohol en estado líquido. Si esto ocurre, se recomienda abrir la cámara de niebla, secar ese alcohol en la parte baja y asegurarse de que tenemos suficiente hielo seco. Por otro lado, la parte superior debe estar a temperatura ambiente (entre 18 y 20°C funciona bien). Sin embargo, en el caso en el que el ambiente sea muy frío, también lo estará la parte de arriba de la cámara y la parte interior de la cámara estará toda demasiado fría y no se observarán trazas. Algo similar puede ocurrir si la temperatura ambiente es demasiado alta. Si eso ocurre, se recomienda buscar un lugar más amplio y fresco para realizar la actividad. Se ha podido detectar, que en la niebla en la que se observa con mayor facilidad las trazas, hay unas “pequeñas olas”, y es en esas olas en las que se observan las trazas.

Altura de la cámara adecuada:

La altura de la cámara es importante para poder obtener el gradiente de temperatura adecuado. Una altura de entre 15 y 20 cm funcionan correctamente. En cámaras de niebla más bajas, lo que ocurre es que la capa en la que se observan las partículas, es muy estrecha y no se detectan bien. Por otro lado, cuando la altura es demasiado alta, no se llega a crear la niebla para poder observar las partículas.

Cantidad de isopropanol:

El fieltro se debe empapar, pero es importante evitar que caigan gotas de isopropanol mientras se realiza la observación. A su vez, si hay en exceso, condensa en la parte inferior de la cámara e impide que se cree la niebla en la zona de observación. En estos casos, se recomienda abrir la cámara de niebla y secar el isopropanol sobrante.

Fondo bien iluminado:

La iluminación del fondo es otro factor importante. Tal y como se ha mencionado, la iluminación con fuentes de luz de poca potencia no permite observar las trazas, por ello, consideramos la fuente de luz como un factor determinante en la observación. Para poder observar mejor, se recomienda iluminar la parte baja de la cámara de niebla con cierto ángulo y observar desde el mismo lado desde el que se ilumina. No obstante, cuando la niebla es la adecuada, se observan las trazas desde cualquier ángulo.

USO DIDÁCTICO DE LA CÁMARA DE NIEBLA EN CLASE

La utilización de la cámara de niebla en clase no debería minimizarse a la exposición del instrumento y a su utilización en la observación. Una posible solución es incluir al estudiante en el proceso de construcción de la misma: elección de materiales, tamaños, objetivos, etc. Esta participación es lo que realmente va enriquecer el aprendizaje del alumnado, ya que, estará trabajando conceptos físicos y químicos que conoce, aplicados a un contexto real en el que los necesita. Por ejemplo, conceptos relacionados con los cambios de estado de agregación de la materia, las propiedades térmicas de los materiales como buenos conductores y buenos aislantes o también el comportamiento de algunas propiedades de la luz. Por otro lado, surgen muchas necesidades técnicas que favorecen la resolución de problemas y las destrezas científicas asociadas a los procedimientos. Por ejemplo, hacer pruebas con los tipos de pegamento para el fieltro, analizar si todos los fieltros o los tipos de alcohol sirven para la cámara de niebla. Preguntas como, ¿por qué utilizar hielo seco?, ¿qué es un gradiente de temperatura?, ¿por qué usar isopronapol? Pueden ser resultas, con toda la ciencia que hay detrás. Incluso surgen preguntas que permiten plantear investigaciones en paralelo, como, por ejemplo, ¿por qué grita el metal con el hielo seco? Responder a esta pregunta con rigor, está en el nivel de estudiantes de bachillerato y podría llevar a plantear otro trabajo de investigación con los estudiantes.

Y todo ello, sin olvidarnos que se está trabajando en el contexto de la física de partículas y la detección de las mismas con un instrumento casero. Es decir, que a toda la ciencia que rodea al instrumento por sus características termodinámicas y técnicas, es posible trabajar la física de partículas. Ya se han mencionado preguntas como: ¿vemos realmente las partículas?, ¿todas las trazas son iguales?, ¿a qué se debe que sean diferentes?, ¿qué características tienen las partículas detectadas?, ¿podemos modificar nuestro instrumento para poder diferenciarlas? Estas preguntas pueden ser trabajadas mientras se realiza la observación e incluso plantear posibles modificaciones del instrumento aplicando campos magnéticos para intentar modificar la dirección de las partículas detectadas.

Finalmente, y dado que la compra del hielo seco no es algo habitual en el día a día de un centro de secundaria, se puede plantear una jornada de observación con otros grupos de clase en la que los propios estudiantes participantes en la actividad, sean los guías del resto de observadores. En la figura 23, se expone la imagen del taller en el que se realizaron las cámaras de niebla con los profesores y profesoras de educación secundaria.

Figura 23.
Realización del taller de física
de partículas con profesorado
de educación secundaria



IDENTIFICACIÓN DE PARTÍCULAS

La tipología de las partículas que se observan en la cámara de niebla es muy variada. La intención de esta guía, no está tanto en definir cada una de las partículas observables, pero sí en al menos poder identificar las partículas más comunes:

Protones:

El paso de protones se puede identificar de diferentes formas según el ángulo con el que incida en la cámara de niebla. En ocasiones, se observa una traza gruesa que se extiende en gran parte de la cámara de niebla. En otras ocasiones esta línea puede ser más corta, pero igualmente gruesa.

Electrones y positrones:

Los electrones y positrones también se pueden observar de diferentes formas. Las líneas siempre son muy delgadas y pueden aparecer como largas y rectas o retorcidas y más cortas. Las trazas retorcidas corresponden a electrones de baja energía que cambian de dirección al colisionar con las moléculas del isopropanol. Las trazas más largas y rectas corresponden a electrones de energías más elevadas. Los electrones pueden tener su origen en distintas fuentes: puede surgir de fuentes de radiaciones beta o directamente provenir de la radiación cósmica. Con la cámara de niebla tal cual está construida no sería posible diferenciar los electrones de los positrones.

Partículas Alfa:

Las trazas de las partículas alfa corresponden a líneas más cortas, pero con un grosor mayor. Las partículas alfas son núcleos de Helio (2 protones + 2 neutrones), y su energía les impiden ser muy penetrantes. La observación de las trazas de las partículas alfa es muy llamativa porque se diferencian fácilmente del resto de trazas.

Muones:

Las trazas de los muones son completamente rectas y largas. Son similares a las trazas del electrón, pero rectas. El origen de estas trazas suele estar en la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera y por eso, suelen observarse en dirección hacia el suelo. El tipo de línea recta que crean se debe a que llegan con velocidades cercanas a la velocidad de la luz.

Estas partículas serán algunas de las que podamos observar, pero ni mucho menos serán todas las posibles. Por otro lado, también se puede plantear la posibilidad de acercar muestras que sepamos que son radiactivas. Por ejemplo, un mineral que se puede comprar como material escolar y es levemente radiactivo (sin ser dañino), es el Zirkón. Al acercar este material a la cámara de niebla, podremos observar como el número de trazas aumenta. Al igual que hacemos esta prueba con un material radiactivo, podríamos hacerlo con materiales u objetos no radiactivos, pero que en el ideario popular puedan tener esa connotación, como, por ejemplo, los móviles, los ordenadores o los microondas, observando con seguridad que no se produce una radiación extra, al menos debido al objeto en sí mismo.

Reflexiones finales

Al llegar al final de este viaje a través de la enseñanza de la física de partículas, es momento de reflexionar sobre las experiencias compartidas y los conocimientos trabajados a lo largo de esta guía didáctica. Hemos explorado los fundamentos teóricos de la física de partículas, analizados las posibles estrategias didácticas y reflexionado sobre las oportunidades que ofrece esta disciplina en el aula. Para acabar, es el momento de intentar consolidar algunas de las reflexiones que podemos extraer de este libro y considerar cómo podemos aplicarlo al aula para mejorar la experiencia educativa con nuestros estudiantes y enriquecer nuestro propio desarrollo como docentes.

En la primera parte de la guía, hemos explorado los conceptos fundamentales de la física de partículas, partiendo de la estructura básica del átomo hasta llegar al Modelo Estándar de Partículas. También, se han examinado como estos conceptos están relacionados con la realidad del día a día, tanto en aplicaciones directas como en investigación científica sobre la física de partículas. La profundidad de los contenidos, se ha intentado establecer como aquellos que el profesorado debe saber para poder impartirlos dentro del aula con cierta comodidad. Es importante resaltar que todo lo trabajado en esta guía es lo que debe ser trasladado al aula, dado que aprenderse el nombre de todos los tipos de partículas carece de sentido, siendo más importante reflexionar sobre la existencia de tantas, y como las propiedades de muchas de ellas nos permiten explicar el mundo macroscópico. Finalmente, vincular los fundamentos físicos con el día a día tanto en las aplicaciones como en la investigación actual fomenta el interés del alumnado por la ciencia en general y la física en particular.

En el bloque dedicado al Conocimiento Didáctico del Contenido CDC, ha permitido comprender cómo adaptar los conceptos de la física de partículas, a veces complejos, al contexto educativo. Este nexo de unión entre el conocimiento científico y el cómo enseñarlo, es un aspecto fundamental en todo el proceso educativo. En este apartado también hemos incluido un breve análisis del currículo a nivel nacional y autonómico, en el que hemos comprobado que la física de partículas también cuenta con un contexto curricular.

Sin embargo, lo más importante ha sido la introducción de una actividad práctica e experimental de aula para trabajar la física de partículas: la construcción de una cámara de niebla. En la construcción de la cámara, y desde una perspectiva de docentes, hemos intentado detallar los materiales necesarios y el proceso de construcción, incluyendo la forma de resolver algunas de las dificultades encontradas más importantes en la construcción de la misma. Creemos que esto puede facilitar la implementación de la actividad en las aulas. A su vez, no se plantea la construcción de la cámara de niebla como un instrumento para enseñar directamente en el aula, sino para implicar al estudiante en la construcción de la misma. Estas estrategias propuestas en la guía pueden potenciar el aprendizaje de los estudiantes, fomentando la curiosidad, el pensamiento crítico y la exploración activa, lo que los prepara para el mundo científico actual.

Como conclusión final, se ha intentado redactar una guía docente que resulte práctica y fundamentada, en la que el profesorado pueda apoyarse para trabajar una rama de conocimiento tan profunda y tan viva como es, la física de partículas.

Bibliografía

Barradas-Solas, F. y Alameda-Meléndez, P. (2010). Partículas de verdad: construya su propia cámara de niebla. *Science in School*, 14, 36-40.

Bolívar, A. (2005). Conocimiento didáctico del contenido y didácticas específicas. *Profesorado, Revista de currículum y formación del profesorado*, 9 (2), 1-39.

Cascarosa Salillas, E., Pozuelo Muñoz, J., Jiménez, M. y Fernández Álvarez, F.J. (2022). Analysis of the mental model about the atom concept in Spanish 15- to 18- years old students. *Educación química*, 33 (2), 181-193. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.2.79895>

CERN (13 de febrero de 2015). *Standard Model -Animated-* <https://home.cern/resources/video/physics/standard-model-animated>

Graham Farmelo (2010) Did Diract predict the positrón? *Contemporary Physic*, 51 (2), 97-101, DOI: 10.1080/00107510903217214

El Periódico de Aragón (26 de octubre de 2023). *Europa financia con 13 millones de euros un proyecto impulsado desde la Universidad de Zaragoza sobre la materia Oscura*. https://www.elperiodicodearagon.com/aragon/2023/10/26/europa-financia-13-millones-euros-93831262.html?utm_source=whatsapp&utm_medium=-social&utm_campaign=btn-share

Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación (2020). Texto consolidado. Última modificación de 30 de diciembre de 2020. Con las modificaciones introducidas por la Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre. Disponible en:

<https://www.boe.es/buscar/pdf/2006/BOEA-2006-7899-consolidado.pdf>

Ley Orgánica 3/2020, de 29 de diciembre (LOMLOE), por la que se modifica la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. 30 de diciembre de 2022. *Boletín Oficial del Estado*, 340, 122868-122953

ORDEN ECD/1172/2022, de 2 de agosto, por la que se aprueban el currículo y las características de la evaluación de la Educación Secundaria Obligatoria y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. 11 de agosto de 022. *Boletín Oficial de Aragón*, 156, 27832-29022

ORDEN ECD/1173/2022, de 3 de agosto, por la que se aprueban el currículo y las características de la evaluación del Bachillerato y se autoriza su aplicación en los centros docentes de la Comunidad Autónoma de Aragón. 12 de agosto de 022. *Boletín Oficial de Aragón*, 157, 29048-30389

Rodríguez-Casals, C. y Cabero, R. (coord.). (2024). *AuLia. Aulas en residencia en los Laboratorios CESAR de Innovación Abierta de la Universidad de Zaragoza. Talleres y experiencias didácticas en el contexto de las ciencias experimentales*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza

Agradecimientos

En la elaboración de esta guía docente se agradece:

Al programa “**AULIA. Aulas en residencia en los Laboratorios de Innovación Abierta CESAR de la Universidad de Zaragoza**”, en el que participa personal docente e investigador de la Universidad de Zaragoza especializado en ciencia, tecnología y didáctica de las ciencias experimentales. <https://aulia.bifi.es/>

A la **Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)- Ministerio de Ciencia e Innovación**.

Al **Centro Etopía de Arte y Tecnología**, que alberga un nicho de conocimiento y arte difícil de cuantificar, en cuyas instalaciones se ha desarrollado el programa AuLiA.

Al **Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales** del Departamento de Didácticas Específicas de la **Universidad de Zaragoza**.

Al **Grupo Beagle de Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales** (REF: S27_23R)

Al **Instituto Universitario de Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA)**

A la **Real Sociedad Española de Física (RSEF)** y a la **Fundación Ramón Aceres**, por la concesión de becas para el Programa Español del CERN, para Profesores de Ciencia y Tecnología para el Programa.

Al propio **CERN**, por seguir realizando una investigación puntera sobre física de partículas a nivel mundial y por ofrecer la posibilidad de ser visitado por profesores y profesoras de todo el mundo.

AuLIA

Más allá del átomo

Un acercamiento al Conocimiento Didáctico del Contenido y guía didáctica sobre una implementación experimental en el aula.

ISBN 978-84-10169-20-3



Con la colaboración de:



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE CIENCIA, INNOVACIÓN
Y UNIVERSIDADES

FECYT



FUNDACIÓN ESPAÑOLA
PARA LA CIENCIA
Y LA TECNOLOGÍA