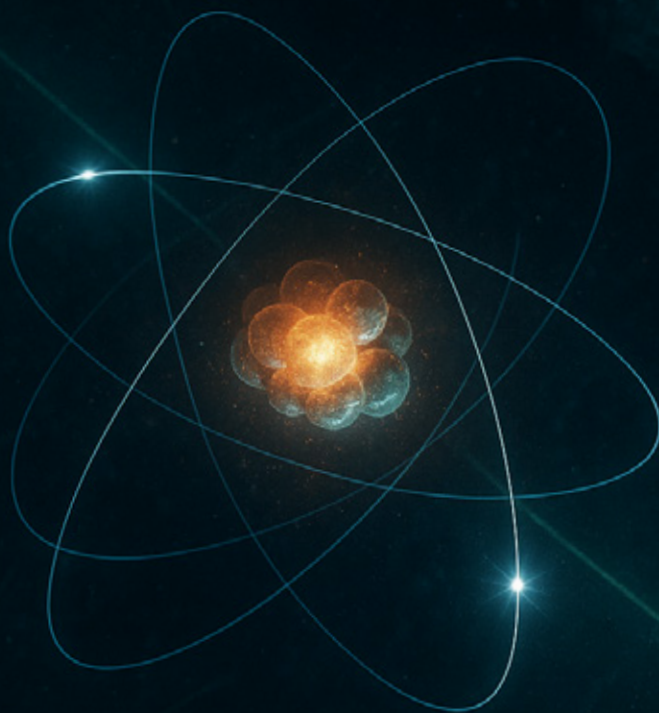


Juan Pedro Bolívar Raya

LA RADIOACTIVIDAD Y LOS SECRETOS DE LA MATERIA

Lección Inaugural
Curso 2025-2026



Editorial
Universidad
de Huelva

EUHU

LA RADIOACTIVIDAD Y LOS SECRETOS DE LA MATERIA

JUAN PEDRO BOLÍVAR RAYA

PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD

LA RADIOACTIVIDAD Y LOS SECRETOS DE LA MATERIA

LECCIÓN INAUGURAL
CURSO ACADÉMICO
2025-2026



Universidad
de Huelva

Primera edición: septiembre 2025

© Editorial Universidad de Huelva

© Juan Pedro Bolívar Raya

El.S.B.N. (PDF): 978-84-10326-70-5

Maquetación: Editorial Universidad de Huelva

Para citar esta publicación, use la siguiente referencia:

Bolívar Raya, Juan Pedro. *La radioactividad y los secretos de la materia*. Editorial Universidad de Huelva, 2025. ISBN.

Esta obra está bajo una licencia internacional Creative Commons **BY-NC-SA** Atribución-NoComercial-CompartirIgual.

Editorial Universidad de Huelva es miembro de Unión de Editoriales Universitarias Españolas UNE.

Editorial Universidad de Huelva
Campus de El Carmen . Edif. Marie Curie
Avda. Tres de Marzo, s/n – 21071 Huelva
t. 959 21 93 27. publicaciones@editorial.uhu.es
www.uhu.es/editorial



Libro bajo licencia Creative Commons



Comparte por redes sociales



Cita el libro



Navegación por marcadores e hipervínculos

Excmo. Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Huelva

Excmo. Sr. Secretario General de Investigación e Innovación de la Junta de Andalucía

Excelentísimas e ilustrísimas autoridades Académicas, Civiles, Militares y Religiosas

Claustro de profesores

Queridos alumnos

Amigos todos

Señoras y señores

Tener hoy la oportunidad de pronunciar esta lección inaugural del curso 2025/26 en mi Universidad me llena de orgullo, pero también me supone una gran responsabilidad. Por ello, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han acompañado a lo largo de mi carrera académica; a los compañeros con los que he compartido preocupaciones e ilusiones; a los miembros de mi grupo de investigación -tanto a los actuales como a quienes formaron parte en el pasado-; a mis colegas de la Facultad de Ciencias Experimentales; y, muy especialmente, a mis alumnos, de los que tanto he aprendido.

Pero, sobre todo, mi gratitud más profunda hacia mi familia, el gran motor de mi vida, cuyo apoyo incondicional ha sido **siempre** mi mayor fortaleza.

Y después de este obligado preámbulo, me dispongo a iniciar la lección que hoy nos convoca.

Me gustaría centrar mi charla en la revolución científica que se produjo a finales del S. XIX y comienzos del XX. En este periodo se "*derrumba*" la física clásica, construida a lo largo de más de 300 años, emergiendo dos nuevas teorías fundamentales de la naturaleza, la Relatividad y la Física Cuántica, disciplinas que transforman radicalmente nuestra concepción del mundo.

Paralelamente, se produce el descubrimiento de la radiactividad, que abre las bases del conocimiento actual sobre la **estructura de la materia**, un problema debatido desde hace más de 25 siglos. Unido a estos avances encontramos biografías fascinantes como la de Marie Curie, modelo de las cualidades que debe poseer un científico, o la de Ernst Rutherford, descubridor de la concepción actual de la estructura de la materia.

Las Ciencias de la Naturaleza no son más que una forma particular de "pensar", que pretenden comprender el mundo "físico" a través de **experimentos**, en los que resulta esencial la medida de **observables medibles**. En este sentido, la Ciencia, y en particular la Física y la Química, a partir de las propiedades medibles de la materia elabora nuevos conceptos, leyes y teorías que permitan explicar y predecir el funcionamiento de la naturaleza.

Ello no implica minusvalorar otras ramas del conocimiento, como la filosofía o las artes, que abordan cuestiones no reducibles a la medición –la belleza, el amor, la felicidad, el bien y el mal, entre otras– y que resultan igualmente esenciales para el ser humano. De ahí la importancia de reconocer que la Ciencia no pretende responder el "**porqué**" último de los fenómenos naturales, sino el "**cómo**" *funciona la naturaleza* aplicando teorías sustentadas en la medida de observables.

A estas leyes y teorías se las somete a experimentos para analizar sus rangos de validez, y cuando se **falsan**, es decir, cuando se

obtienen resultados que no pueden explicar, se elaboran **nuevas leyes con rangos de validez más amplios**. Por ejemplo, las leyes de Newton fueron válidas durante más de 3 siglos, pero no logran explicar diversos hechos experimentales, por lo que a comienzos del S XX surgen las teorías de la Relatividad y de la Física Cuántica, que conceptualmente rompen totalmente con la Física Clásica, y que siguen siendo válidas hasta la actualidad. Ya veremos lo que nos depara el futuro.

Y llegamos a finales del S. XIX, con tres grandes pilares de la Física como teorías cerradas desde el punto de vista matemático y conceptual: la **teoría electromagnética**, la **termodinámica**, y la **mecánica**. Así, algunos físicos eminentes como *Ernst Mach* se atrevieron a decir que *la Física era una disciplina científica totalmente cerrada y terminada, que solo podría avanzar en el desarrollo de aplicaciones tecnológicas*. Ya sabemos lo equivocados que estaban algunas de estas eminencias al descubrirse las dos grandes teorías citadas antes.

Una vez hecha esta pequeña introducción sobre el estado de la Ciencia a finales del S XIX, vayamos al tema central de la lección de hoy con la siguiente pregunta, **¿cómo cambia la concepción sobre la estructura de la materia en esta agitada época?**

Hasta finales del S. XIX, y durante más de 2500 años, coexistieron dos grandes corrientes de pensamiento. La primera sostenía que la materia es **continua** y está compuesta por 4 elementos -fuego, agua, aire y tierra-, asociados a la vez con 4 cualidades (frío/caliente, seco/húmedo). Y las *proporciones entre ellos generan todas las propiedades de los cuerpos materiales* que observamos. El griego Aristóteles, S IV a.C., fue el gran defensor de esta teoría.

La segunda corriente es la visión **atomista** de la materia, que se inicia con Leucipo y Demócrito en el S. V a.C., introduciendo la noción de átomo, o partícula indivisible, de manera que *sus di-*

ferentes formas y tamaños explicarían las múltiples propiedades de la materia.

Hasta inicios del S. XIX predomina el modelo continuo de la materia, cuando el químico Dalton rescata la *teoría atómica* de Demócrito con objeto de explicar el *concepto de elemento químico*, o *sustancia que no se descompone en otras más simples*. A partir de la hipótesis atómica, y alguna más como la de Avogadro (1811), se explican todas las leyes experimentales de la química establecidas en el S. XVIII, y basándose en ellas, se consigue una escala relativa de masas atómicas de todos los elementos conocidos, que fueron ordenados en la tabla periódica de Mendeléiev en 1869.

Pero la existencia de los átomos no se acepta por la mayoría de la comunidad científica hasta comienzos del S. XX, cuando se consigue por fin medir las *masas absolutas de los átomos*. Este logro se alcanza cuando somos capaces de **contar los átomos** a través de la medida experimental del **número de Avogadro**, o número de átomos que hay en una determinada masa de elemento químico.

A finales del S. XIX quedaban grandes preguntas que resolver, como, por ejemplo:

- **¿Qué interacciones causan que los átomos neutros se unan formando moléculas?**
- **¿Cómo es posible que las ondas electromagnéticas se propaguen en el vacío?**
- **¿Qué era la radiactividad con propiedades tan diferentes al resto de radiaciones conocidas en su época? O,**
- **¿El "átomo es indivisible" o realmente posee estructura interna?**

La historia de las respuestas a estas preguntas comienza con Roentgen en 1895, cuando descubre que al incidir los rayos cató-

dicos con un objeto se emitía una radiación con unas *propiedades muy especiales: eran invisibles, atravesaban cuerpos opacos, o hacían brillar pantallas fluorescentes*. Los denominó **rayos X** por su naturaleza desconocida, y por su descubrimiento Roentgen recibe en 1901 el Nobel de Física, año en que se inicia la concesión de estos galardones.

Pero los rayos catódicos también sirvieron para que dos años después (1897), **J.J. Thomson** realizara otro descubrimiento trascendental sobre la estructura de la materia: **“los rayos catódicos estaban formados por partículas materiales de carga negativa”**, a las que denominó **“electrones”**. El electrón es una partícula indivisible hasta nuestros días, y es *el átomo de la carga eléctrica, el cual explica la mayoría de los fenómenos físicos y químicos que observamos*.

Pero todo cambió con el descubrimiento de la **radiactividad** y las **leyes** que rigen este fenómeno. Su historia comienza el 2 de marzo de 1896, cuando *Henri Becquerel* presenta sus resultados a la Academia de Ciencias de Francia bajo un informe titulado **“Sobre las radiaciones invisibles emitidas por cuerpos fosforescentes”**. Becquerel descubre que los minerales de **uranio**, elemento descubierto 100 años antes, emiten radiación de manera espontánea, invisible, indefinida y constante en el tiempo, sin necesidad de una fuente externa de energía ni de reacciones químicas que las produzcan. Además, comprobó que estas radiaciones eran capaces de atravesar espesores considerables de material y otras sustancias opacas a la luz ordinaria. Becquerel denominó a estas radiaciones **“rayos uránicos”**.

Por otro lado, en 1891 y con solo 24 años, había llegado a París **María Salomea Skłodowska**, protagonista central de la historia de la radiactividad. En este año ingresa en la Universidad de la Sorbona, siendo una de las 23 alumnas de los 1825 estudiantes matriculados en la Facultad de Ciencias; solo un 1.3% de

mujeres, y por tanto algo hemos progresado. Dos años después se licencia en Física (1893) con el N° 1 de su promoción, siendo una de las dos alumnas que se graduaron ese año en toda la Universidad de la Sorbona. Por sus excelentes calificaciones consigue una beca destinada a estudiantes polacos excelentes, se matricula en Matemáticas y gradúa en julio de 1894 con el N° 2, lo que supuso para ella un gran fracaso que se reprochó durante años.

En 1895 se casa con Pierre Curie, y en esos meses Marie estaba buscando tema para realizar su tesis doctoral. Pero ella estaba impresionada por las propiedades de los rayos uránicos de Becquerel y los R.X. de Roentgen, convenciendo a Pierre de desarrollar su **tesis doctoral** en dicha materia, que iniciaría en 1897 sin laboratorio ni apenas medios materiales. Marie es un ejemplo de científica valiente que abre su propia línea de investigación, algo muy inusual para un estudiante de doctorado, tanto de aquella época como de ahora. Esta nueva senda resultó ser tan fascinante para la pareja que terminó arrastrando al genial y soñador Pierre a este nuevo campo de investigación.

Como se partía prácticamente de cero, Marie Curie no se planteó saber qué es la radiactividad, sino unas preguntas más modestas, ***¿Cómo medir la radiactividad? ¿A qué sustancias se asociaba? ¿O qué partículas forman la radiactividad?*** El gran éxito de Marie fue hacer las preguntas adecuadas y dar las respuestas acertadas de forma valiente.

Su tesis doctoral la defendió en la Universidad de París el 25 de junio de 1903, después de 6 años de duro trabajo, y la tituló ***"Investigaciones sobre las sustancias radiactivas"***, siendo revolucionaria su conclusión central:

"La radiactividad es una propiedad intrínseca de la materia y universal, asociada a elementos químicos como el uranio (U) y torio (Th). Además, basándose en

sus propiedades radiactivas, demostró la existencia de dos nuevos elementos químicos, el polonio (Po) y el radio (Ra)”

Marie, Pierre y Henri Becquerel reciben este mismo año, 1903, el premio nobel compartido «Por sus investigaciones conjuntas pioneras sobre la radiactividad».

Y la siguiente pregunta fue, **¿qué elementos emiten los “rayos uránicos” de Becquerel?** Marie midió todos los minerales que encontró en la facultad de Ciencias, y demostró que, además de los minerales de U, también los minerales de **Th** emiten radiactividad, elemento descubierto unos 70 años antes por Berzelius. Por tanto, cambió el nombre a los rayos uránicos, pasando a denominarse **“radiactividad”**.

Encontró que **el mineral de uranio (U) o de torio (Th) era bastante más radiactivo que el U o Th puros**, emitiendo la siguiente hipótesis para resolver esta aparente paradoja:

“El exceso de radiactividad de los minerales de U y Th con relación a los elementos puros es producido por otros elementos químicos desconocidos hasta la fecha debido a su baja concentración en el mineral”.

Pero en Ciencia, las hipótesis deben verificarse experimentalmente, y se puso manos a la obra. Pero Pierre y Marie eran físicos, por lo que solicitaron ayuda al químico **Gustave Bemont**, profesor de química en el mismo centro donde Marie tenía su laboratorio, un barracón que se usaba como almacén de la Escuela de Industriales. Bemont les instruyó en el método clásico de separación e identificación de cationes, que fue desarrollado 60 años antes por **Fresenius**, insigne químico alemán, considerado el Padre de la Química Analítica moderna. Aplicando el ciclo de separación múltiples veces obtuvieron finalmente una muestra que era unas 400 veces más radiactiva que la original de Pechblenda. Esta muestra

final era una sustancia con un elevado contenido en bismuto (Bi), elemento que no es radiactivo. A este nuevo elemento, con química similar al Bi, Marie le denominó Po en honor a su país natal.

Pero en esa época había que proporcionar al menos estas tres evidencias, para demostrar que se había descubierto un nuevo elemento químico:

- 1) *su espectro característico;*
- 2) *su masa atómica;*
- 3) *y obtener una muestra macroscópica del elemento puro.*

La demostración experimental de la existencia del Ra como nuevo elemento químico fue un **trabajo épico**, pudiendo denominarse a esta etapa "***La búsqueda interminable del radio***". Para extraer estos elementos químicos se estima que trataron con *ácidos fuertes* más de *8 toneladas* de escorias de mineral de uranio. Para el aislamiento del Ra aplicaron el citado método secuencial de separación de cationes, seleccionando siempre la fracción más radiactiva. En la comunicación de los Curie a la Academia de Ciencias francesa de fecha 19/12/1898, decían: "*La nueva sustancia radiactiva todavía contiene una gran proporción de Ba, pero a pesar de ello su radiactividad es considerable. Por tanto, la radiactividad del radio puro debe ser enorme*".

Los esposos Curie obtuvieron en 1902 sobre 1 g de radio puro en forma de RaCl_2 , después de 4 años de intenso trabajo, y usando esta muestra lograron medir su masa atómica, desviándose solo en un 0.5% del valor exacto.

También contactaron con el físico Eugene Demarçay, especialista en espectroscopía, quien demostró que su espectro era diferente al de todos los elementos conocidos en su época, aumentando su intensidad con el nivel de radiactividad de la muestra de radio. Otro ejemplo de colaboración científica, esencial para el avance de la Ciencia.

Pero el **Po no se dejó atrapar por Marie**, ¿por qué? El motivo se supo mucho después, y fue que su concentración en el mineral de U es unas 4000 veces menor a la del Ra, por lo que los Curie no consiguieron jamás tener una muestra macroscópica de un compuesto puro de Po. Pero las pruebas que alegaron para el Po, solo basadas en la intensidad de su radiactividad, fueron suficientes para que el Comité de Nobel aceptara su existencia y reconociera su descubrimiento a Marie Curie, quien recibió en solitario el nobel de química de 1911 por el descubrimiento del Ra y el Po.

Marie también estudió los efectos de la radiactividad y sus aplicaciones médicas. Como ejemplo, narremos la anécdota de las "**chicas del radio**". En la segunda década del S XX se inventaron relojes cuyas agujas visibles en la oscuridad se recubrían con una pintura luminiscente de color verde que contenía radio. Las mujeres que lo hacían afilaban las puntas de los pinceles entre sus labios, por lo que ingerían cantidades de radio. La mayoría de estas trabajadoras cayeron enfermas, y muchas de ellas murieron. Las trabajadoras denunciaron a sus empleadores y ganaron el juicio. Después de estos sucesos, en 1916 el Congreso de los Estados Unidos votó una resolución que estableció los **derechos** de los empleados que contraen **enfermedades laborales**.

Por el contrario, un ejemplo de buena aplicación de la radiactividad fue la construcción por Marie Curie de unos **20 equipos móviles de rayos X** con salas de exposición y rebelado, llamadas unidades "Petite Curies", para lo cual formó a más de 100 mujeres, salvando muchas vidas de soldados franceses durante la 1ª Guerra Mundial.

Marie había alumbrado una nueva ciencia en el límite de la física y la química, pero sus respuestas dieron lugar a nuevas preguntas.

- **¿Qué tipo de partículas forman los rayos uránicos?**
- **¿Qué le ocurre a un átomo cuando emite radiactividad?**

- ***¿Podemos “ver” la estructura interna del átomo analizando como “incide” la radiactividad sobre la materia?***

Las respuestas a estas preguntas las dio el genio de **Ernst Rutherford**, un joven neozelandés recién llegado a la Universidad de Cambridge en 1901. Los resultados del primer experimento le llevan a la conclusión de que los rayos uránicos estaban formados por al menos **dos tipos de partículas muy energéticas**, denominando **“alfa”** a las muy pesadas y poco penetrantes, y **“beta”** a las muy ligeras (electrones) y 100 veces más penetrantes. Un año después **Paul Villard** descubriría la radiación “gamma”, compuesta por fotones, partículas neutras sin masa y similares a las de la luz, pero mucho más energéticas e invisibles.

La respuesta a qué le ocurre a un átomo cuando emite radiactividad también la proporcionó el joven genio Rutherford, con el descubrimiento de la **transmutación** nuclear. Rutherford era físico, por lo que en 1901 contrató a un joven excéntrico y prometedor químico de la U. de Oxford, **Frederick Soddy**, para que colaborase en la investigación. Se cuenta que, tras realizar los primeros experimentos, Soddy corrió a decirle a Rutherford que el **“torio se transformaba en otro elemento químico”** durante la emisión de las partículas radiactivas. Rutherford le calmó y le pidió discreción porque los colegas les iban a tomar por **“alquimistas”**. Siguieron trabajando en este problema y en el verano de 1902 publican los resultados con la segunda conclusión central de que **“durante la emisión radiactiva se producían transmutaciones sucesivas de unos radioelementos en otros, hasta el último que es estable”**.

Y no debo dejar de mencionar el descubrimiento de la **radiactividad artificial** en 1934 por Frederic Joliot e Irene Curie, hija de Marie Curie. Al bombardear láminas de boro y de aluminio con un haz de partículas alfa procedentes de una fuente radiactiva de polonio, -es decir, utilizando nuevamente la radiactividad natural como herramienta para un nuevo hallazgo trascendental- com-

probó que dichas láminas se convertían en radiactivas, y demostrando que se debía a la formación de nuevos isótopos radiactivos, a los que se les denominó radionucleidos artificiales, por no existir en la naturaleza. Podemos decir, que es *el proceso inverso al de la transmutación radiactiva*, ya que se explica porque un núcleo estable absorbe una partícula alfa convirtiéndose en un átomo diferente y radiactivo. Este descubrimiento le valió al matrimonio compartir el Premio Nobel de Química en 1935.

La radiactividad artificial tiene innumerables usos, especialmente en **Medicina**, existiendo una especialidad denominada Medicina Nuclear, designada así porque se basa en el uso médico de los isótopos radiactivos, tanto para terapia como para diagnóstico de enfermedades

Otro gran descubrimiento realizado por realizado por Rutherford y Soddy en 1902, es la *ley exponencial de la desintegración radiactiva*, que proporciona el número de átomos sin desintegrar en función del tiempo transcurrido. Esta ley establece que cada isótopo radiactivo tiene una propiedad característica denominada **semivida** ($T_{1/2}$), o tiempo que debe transcurrir para desintegrarse la mitad de los átomos iniciales de la muestra. Esta ley exponencial con el tiempo establece un **reloj absoluto**, intrínseco a la materia, que permite determinar el tiempo que ha transcurrido entre dos sucesos acaecidos en una muestra, y por tanto aplicable en múltiples ramas de la ciencia, la tecnología y la ingeniería.

Por citar un ejemplo, la primera aplicación de esta ley resolvió *el problema trascendental de la edad de la Tierra*. A comienzos del S XX no había consenso entre los geólogos sobre la edad de la Tierra, siendo de unos 100 millones de años las mayores edades que se consideraban. Las primeras estimaciones basadas en isótopos radiactivos fueron dadas por Holmes en 1911, estando en torno a los 2000 millones años, lo cual supuso una *revolución para la geología*. Las técnicas de medida fueron evolucionando y

el primer valor preciso fue de **4550 millones** de años, publicado en 1956 por **Clair Patterson** utilizando el denominado método de fechado de U-Pb.

Otro ejemplo de técnica de datación es la basada en el radio-carbono (^{14}C), aplicada en múltiples campos como la arqueología, historia, geología, etc., válida hasta unos 50000 años. Un resultado muy mediático obtenido con esta herramienta fue la edad de la **Sábana Santa de Turín**, para la que tres laboratorios independientes demostraron que su origen es de la Edad Media, asignando una edad entre 1260 y 1390 d.C., con un 95% de confianza.

Y dejo para el final, el descubrimiento de que el **átomo tiene un corazón**. En 1910, Rutherford y sus estudiantes de doctorado Marsden y Geiger, realizan el que se considera uno de los **10 experimentos más relevantes de la historia de la Física**. Para ello usaron la radiactividad, en concreto un haz de partículas alfa emitidas por una fuente de Po que incidía sobre una lámina finísima de oro. La conclusión del experimento fue revolucionaria: el átomo está constituido por un **núcleo positivo**, con casi toda su masa, muy pequeño en comparación con la **corteza**, o zona donde orbitan los electrones. Rutherford calculó que el diámetro del núcleo es unas 10 mil veces menor al del átomo, algo revolucionario porque afirmaba que la materia está prácticamente vacía. Es como si comparamos el tamaño de un garbanzo con el de un estadio de fútbol.

Y como consecuencia, otra pregunta surgió, **¿qué partículas componen el núcleo?** Pues al ser el hidrógeno el átomo más ligero, se lanzó la hipótesis de que su núcleo era una única partícula fundamental, que se denominó *protón* por ser positiva y tener la misma carga que el electrón. Pero entonces, **¿por qué la masa de los núcleos no era coincidente con la suma de las masas de los protones que los constituyen?** ¿Por qué el núcleo no se desintegra con las fuerzas repulsivas de los protones?

Para dar respuesta a estas preguntas, Rutherford y otros físicos de la época lanzaron dos hipótesis: la primera, que el *núcleo posee partículas neutras con la misma masa que el protón, por lo que se denominó **neutrón***; la segunda, la existencia de **fuerzas nucleares** atractivas de gran intensidad, capaces de contrarrestar las repulsiones entre los protones.

"Al hallar cómo está construido el átomo, Rutherford desveló uno de los más grandes secretos de la naturaleza, si exceptuamos el de la vida".

Estamos en un momento de la Ciencia que con **solo tres partículas fundamentales se construye el centenar de tipos átomos que forman todos los cuerpos que observamos en el Universo.**

Me gustaría también resaltar que la **naturaleza discreta de la materia también se refleja en la mecánica cuántica, que la traslada a todas las magnitudes medibles a escala atómica, como es la energía de las partículas elementales.**

Y para cerrar esta lección, pienso que podemos seguir afirmando que la materia está formada por partículas, similares al átomo de Demócrito, pero el vacío actual es muy diferente al concebido hace 2500 años por este filósofo. Desde el punto de vista cuántico-relativista, el vacío es un estado fundamental dotado de estructura, permeado por partículas y antipartículas que son creadas y aniquiladas constantemente, en pequeñísimas fracciones de tiempo, resultado de las fluctuaciones cuánticas que el principio de incertidumbre hace posible. Pero será mejor dejar este problema para otra ocasión en la que contemos con más tiempo.

Muchas gracias por su atención.



Universidad
de Huelva

SE ACABÓ DE EDITAR ESTA
LECCIÓN INAUGURAL DEL
CURSO ACADÉMICO 2025-
2026 CON EL TÍTULO “LA
RADIOACTIVIDAD Y LOS
SECRETO DE LA MATERIA” EL
DÍA 26 DE SEPTIEMBRE DE
2025, DÍA INTERNACIONAL
PARA LA ELIMINACIÓN TOTAL
DE LAS ARMAS NUCLEARES

