

# Desarrollo histórico del concepto “materia”

Por J. Osorio \* y G. Campillo \*\*

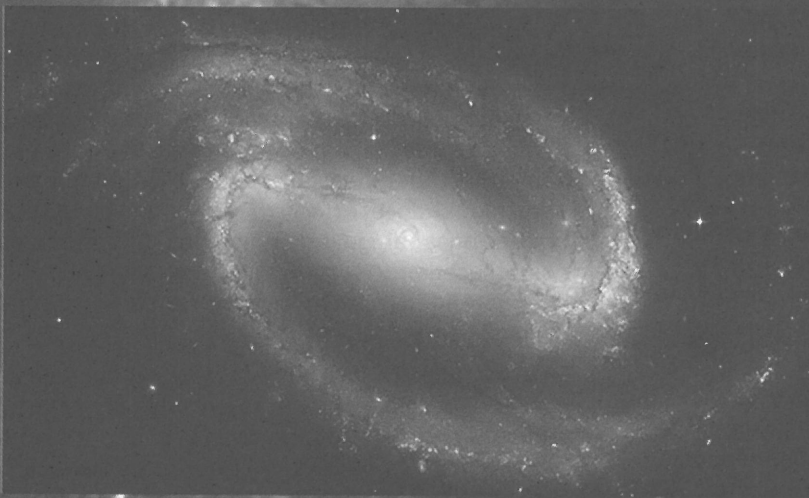
La humanidad se ha preguntado durante largo tiempo ¿De qué está hecho el mundo? ¿Qué lo mantiene unido? ¿Por qué tantas cosas comparten las mismas características? El filósofo griego Empédocles,

de Agrigento en el siglo V a.C. pensaba que el mundo estaba compuesto por cuatro elementos: **aire, fuego, agua y tierra**. Con estos elementos podía explicar los constituyentes esenciales y el comportamiento de los objetos que los rodeaban, es decir, por qué flotan, por qué caen, por qué se transforman.

En respuesta a lo observado, se llegó a comprender que la materia de la que está hecho el mundo es, realmente, un conglomerado de unos pocos bloques constructivos fundamentales. Aquí, la palabra «fundamental» es clave. Cuando decimos bloques constructivos fundamentales queremos significar objetos que son simples y sin estructura - no están hechos con otros objetos más chicos.

Alrededor del año 400 a.C., el pensador heleno Demócrito sugirió que la materia estaba compuesta de pequeñas partículas que llamó *átomos* y son, muy pequeños como para ser vistos aún con los microscopios ópticos más poderosos.

Desde que Arquímedes, en la antigua Grecia, exclamó ¡Eureka! [¡Lo encontré!] Hasta nuestros días, el hombre ha experimentado con fluidos: líquidos y gases. El ascenso de un líquido por un tubo capilar, la forma que toman las gotas de agua o las pompas de jabón y la existencia de meniscos cóncavos o convexos en la



Barred Spiral Galaxy NGC 1300 Hubble Heritage

NASA, ESA and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA) • Hubble Space Telescope ACS • STScI-PRC05-01



superficie de un líquido, son tan sólo unos cuantos ejemplos de las interrogantes que se presentan a los físicos.

Observar los cielos era tarea cotidiana de los navegantes, los astrónomos, los adivinos y muchas personas en la Edad Media, pues la majestuosidad del Universo era abrumadora ante los ojos sorprendidos de los hombres que trataban de encontrarle un orden a ese reloj cósmico que se podía observar cada noche y que llevaba a salvo a cada puerto a los que se aventuraban en los mares. Fue en 1687 cuando Isaac Newton pudo revelar los secretos de los cielos en su obra culminante "Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural". Este trabajo, presentado a la comunidad de ciencias era la culminación exitosa de muchas investigaciones hechas por grandes científicos que lo antecedieron y aportaron todos sus conocimientos para entender el mundo en el que vivían, como Johannes Kepler, Tycho Brahe, Nicolás Copérnico y Galileo Galilei.

Para poder entender los fenómenos naturales, el hombre ha dedicado mucho tiempo a la observación, y para ésta necesita, en la mayoría de los casos, luz, pero, ¿qué es la luz? En 1675, Ole Roemer calculó la velocidad de la luz mediante la observación de un eclipse de Io, una de las lunas de Júpiter. Con este experimento demostró que su velocidad era finita. Los experimentos de Christian Huygens y Thomas Young demostraron que la luz se comportaba como una onda, lo que permitía explicar las leyes de reflexión y refracción de la luz cuando pasa de un medio a otro. A estos trabajos se les suman los de Augustin Fresnel, Pierre Fermat y Fraunhofer, entre otros.

En 1803, el científico británico John Dalton perfeccionó la idea de Demócrito sobre los *átomos* y desarrolló la primera teoría atómica. La teoría de Dalton enunciaba que toda la materia estaba compuesta de pequeñas partículas llamadas átomos. El investigador enunció que los diversos tipos de materia estaban constituidos por diferentes tipos de átomos. Es esta una simple pero revolucionaria teoría. Dado que Dalton sabía que existía un número limitado de sustancias químicamente puras llamadas elementos, partió de la hipótesis según la cual estos distintos elementos estaban constituidos por diferentes tipos de átomos.

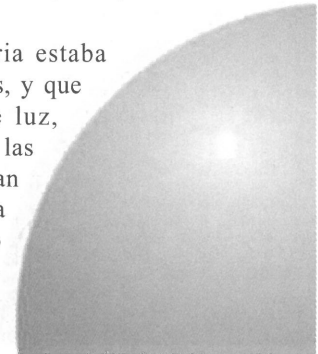
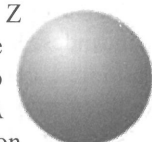
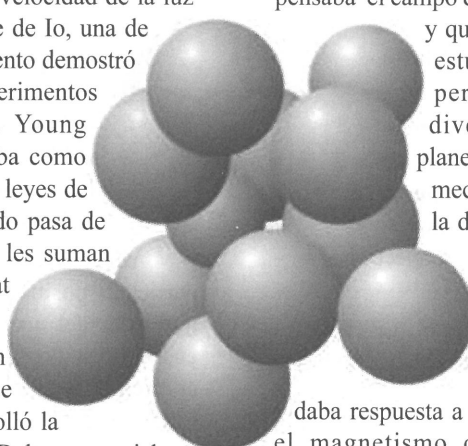
Los trabajos iniciados por el físico inglés Charles Coulomb en 1785, que establecieron las bases para estudiar la interacción entre cargas eléctricas, se concluyen en 1873 con James Clerk Maxwell, quien formuló las leyes del electromagnetismo. Todo este desarrollo científico sería plasmado luego en los logros tecnológicos que hoy disfrutamos: radio,

comunicaciones y televisión, entre otras. Todo este trabajo fue realizado a partir de la concepción de **átomo**, de partícula indivisible que constituye la materia que nos rodea y de la que estamos hechos.

El primer experimento interesante que condujo a un modelo sobre la composición de los átomos, fue realizado por el físico inglés J. J. Thomson, entre los años 1898 y 1903, quien estudió la descarga eléctrica que se produce dentro de tubos de rayos catódicos. En este experimento pudo identificar al electrón y medir la relación entre la carga y la masa del mismo. A partir de su trabajo propuso un nuevo modelo del átomo, en el cual se tiene una carga positiva uniformemente distribuida y **Z** electrones incrustados, considerando que debe existir igual carga tanto positiva como negativa para que el átomo sea neutro. A este modelo se le conoce como "Budín con pasas, ya que los electrones están distribuidos como pasas en el pan. Desde ese momento pasamos de un "átomo" indivisible a un sistema compuesto por cargas positivas y negativas.

Tal vez sea correcto afirmar que, a fines del siglo XIX, se pensaba el campo de la física de átomos más bien agotado y que faltaba poco por hacer. Las teorías y estudios adelantados hasta ese instante permitían explicar fenómenos tan diversos como el movimiento de los planetas y del universo visible, gracias a la mecánica de Newton; la óptica explicaba la dispersión de la luz visible al pasar por un prisma. Podíamos entender el comportamiento de los gases gracias a la física estadística desarrollada por Boltzmann; y el trabajo de Maxwell sobre el electromagnetismo daba respuesta a todos los enigmas de la electricidad y el magnetismo observados. Esta fundamentación científica permitió el desarrollo tecnológico de la revolución industrial, y la idea de conquistar el mundo. Se desarrolló la máquina de vapor y todas sus aplicaciones en el transporte férreo y marítimo. Las máquinas permitían adelantar de una forma más rápida y segura la producción de objetos para la vida cotidiana.

Se aceptó que la materia estaba constituida por partículas, y que la energía en forma de luz, estaba bien descrita por las ondas. Las partículas eran objetos que tenían masa y su posición en un punto del espacio era mensurable. En cambio, las ondas eran descritas en



aquel entonces como algo intangible, carente de masa e imposible de localizar en un lugar definido en el espacio. Además, siempre se aceptó que no existía relación alguna entre masa y luz, por lo que cualquier nueva idea sobre esta manera de ver la materia, era inmediatamente rechazada.

A comienzos del siglo XX, ciertos experimentos sugirieron que este esquema entre la interacción onda-materia no era correcta, ya que había motivos suficientes para desechar la idea según la cual cualquier cantidad de cualquier luz podía interactuar con la materia. Así, desde 1901, al físico alemán Max Planck comenzó a preocuparle que algunos cuerpos incandescentes no emitían una radiación continua de colores, como lo hace la luz blanca. La esencia del *Postulado de Planck* es que existe una cantidad discreta de energía luminosa, que se pierde (Absorción de luz por los átomos) o se gana (emisión de luz por los átomos) al interactuar una fuente luminosa con estos. A la menor cantidad discreta de energía proveniente de la luz, se le llama Quantum de energía luminosa.

Esto quiere decir que cada Quantum se comporta como una partícula luminosa que se propaga en forma de una onda y, en adelante, llamaremos Fotón de energía  $h\nu$ .

En 1905 Einstein usó la teoría cuántica enunciada por Planck para justificar el experimento del efecto fotoeléctrico, que se presenta cuando una superficie de metal es iluminada con un rayo de luz y se emiten electrones de esa superficie.

Einstein supuso que la energía radiante que choca el metal, es un «paquete» de fotones que transporta Quanta de energía  $h\nu$ . Además del trabajo de la interacción de la radiación con la materia, Einstein presentó su teoría especial de la relatividad basada en dos postulados:

- ◆ El principio de la relatividad: En todo sistema de referencia inercial las leyes de la física son idénticas.
- ◆ La constancia de la velocidad de la luz: En todo sistema de referencia inercial la velocidad de la luz tiene el mismo valor.

Esta teoría preparó el camino para solucionar otro «misterio» de la Física de átomos, los espectros de emisión de líneas discretas, que son la radiación emitida por los átomos en forma de líneas.

En 1910 Rutherford hacía experimentos de disper-

sión de partículas a (iones de helio) por una película delgada de oro. Los resultados encontrados no encajaban con el modelo atómico de Thomson, pues partículas a eran dispersadas en la dirección contraria a la fuente que las enviaba. Rutherford describió los resultados de la siguiente forma “*Era el evento más increíble que había sucedido en mi vida. Era tan increíble como si usted disparara un proyectil de 15 pulgadas a un pedazo de papel higiénico y rebotara contra usted*”. A partir de estas observaciones, Rutherford propuso que la carga y la masa del átomo estaban concentradas en el centro, en una pequeña región llamada núcleo donde los electrones giraban alrededor de éste como en un sistema planetario en miniatura. El nuevo modelo atómico era inestable según los conceptos del electromagnetismo, pues una partícula cargada (electrón) que se mueve en una órbita circular, radia energía y, por ende, debe de ir describiendo una órbita cada vez más pequeña hasta que colapsa en el núcleo. Pero esta no iba de acuerdo con lo observado, dado que la materia es muy estable.

En 1911 Bohr planteó que los electrones giran en órbitas bien definidas (órbitas cuantizadas) y que sólo pueden pasar de una a otra por absorber o emitir un quantum de energía igual a la diferencia entre las dos órbitas. Esta propuesta *ad hoc* de la cuantización de las órbitas (niveles de energía), permitió resolver el problema de estabilidad de los átomos.

Ahora tenemos un “átomo” conformado por partículas positivas en el centro y electrones que giran alrededor del núcleo, cuyas trayectorias están, además cuantizadas. Estas nuevas ideas permitieron explicar la aparición de líneas espectrales de los gases en tubos incandescentes y establecer la composición de las estrellas y su temperatura mediante el análisis espectrográfico.

La interacción de la radiación electromagnética con la materia dio un vuelco a la forma de interpretar el mundo, al poder dispersar un electrón por medio de un fotón, cosa antes impensable, pues uno es un objeto material con masa y ubicación en el espacio (el electrón) y el otro es algo sin masa y sin ninguna ubicación espacial. Este experimento de Artur Holly Compton en 1923 reforzaba la idea de Einstein de tratar los fotones (partículas que conforman la luz) como partículas puntuales de energía  $h\nu$ . El nuevo punto de vista nos llevaba a tener dos modelos para las ondas electromagnéticas, ya que se comportan como onda en algunos casos y como partícula en otros. En este mismo año, en su disertación doctoral, Luis Víctor de la Broglie postuló: “*debido a que los fotones tienen características de onda y de partícula,*

*quizá todas las formas de la materia tienen propiedades de onda, así como de partícula.”*

Los nuevos conceptos de los últimos años no se ajustaban a las teorías existentes hasta el momento; por ende se creó una nueva mecánica que permitiera describir los fenómenos observados y predecir nuevos desarrollos. Erwin Schrödinger escribió una ecuación, central en la teoría cuántica, porque permitía calcular, predecir y dar explicación a los fenómenos observados hasta el momento en el mundo microscópico. Grandes físicos como W. Pauli, N. Bohr, P. A. M. Dirac, M. Born, M. Curie, I. Langmuir, P. Langevin, Werner Heisenberg, W. L. Braga, Th. De Donder, entre los más destacados, fueron los encargados de darle el peso de tesis a los trabajos realizados en el primer cuarto del siglo XX, para construir la teoría cuántica.

A partir de desarrollos tecnológicos como el equipo de rayos X, fue posible estudiar la forma como están constituidos los objetos, porque permitía observar la posición donde se encuentran los átomos que conforman un material. A ésta nueva área de conocimiento. Abarca el estudio de los sólidos, líquidos, gel y otros en que la materia se presenta en conglomerados de enorme número de átomos, que se le denominó física de materia condensada aunque cada átomo es eléctricamente neutro, en la materia condensada están tan cerca unos de otros, que entre vecinos se influyen considerablemente mediante interacción electromagnética y formando enlaces, manifiestan un comportamiento colectivo. Propiedades físicas como la dureza, el color o la densidad de un material son parte de este comportamiento colectivo. La física de materia condensada busca establecer las relaciones entre las propiedades macroscópicas de un material y el comportamiento de sus constituyentes a nivel microscópico o atómico. Existe hoy día gran interés por conocer propiedades de la materia bajo condiciones externas especiales, como baja temperatura, alta presión o alto vacío, presencia de campos eléctrico y magnético, radiación, etc. El estudio de la materia condensada no se limita ya a estructuras atómicas naturales, sino que incluye otras construidas por el ser humano. Actualmente se estudian las propiedades que se presentan en multicapas crecidas en los laboratorios con un ordenamiento atómico para obtener aplicaciones en el mundo de la nanotecnología y la *spintronics* (tecnología basada en la detección del *spin* del electrón y por ende, a escala nanométrica).

Con el desarrollo de los aceleradores de partículas cada vez más poderosos y con el apoyo teórico de la cuántica y la relatividad, los físicos han podido estudiar los resultados de hacer colisionar núcleos de hidrógeno (protones) entre sí. Analizando las partículas que resultan

del choque, se pueden buscar nuevas teorías sobre la estructura subatómica de la materia y tratar de encontrar cuáles son las partículas fundamentales que conforman el Universo, además de las fuerzas que cohesionan todo lo existente; de esta forma se descubrió que el núcleo está compuesto de protones (p) y neutrones (n). Con sistemas de aceleración más sofisticados se ha encontrado que incluso los protones y los neutrones no son fundamentales, por estar compuestos de partículas más fundamentales llamadas quarks. En la actualidad los físicos creen que los quarks y los electrones son partículas fundamentales y que con éstas podemos construir todos los elementos de la tabla periódica y por tanto toda la materia del Universo. También que las fuerzas que mantienen la materia estable son cuatro: la gravitación, la fuerza electromagnética, la fuerza débil y la fuerza fuerte, las dos últimas asociadas a las desintegraciones radiactivas de los núcleos y su estabilidad, respectivamente.

Un estudio de las dimensiones de los átomos nos revela valores como los que se muestran en la figura 1, donde un átomo tiene un diámetro promedio de  $10^{-10}$  m (1 ángstrom), su núcleo  $10^{-14}$  m, y un electrón  $10^{-18}$  m, lo que implica que si pudiéramos inflar un átomo hasta que el núcleo tuviera un diámetro de 1 m, los electrones tendrían un diámetro de 0.1 mm y estarían a 10 Km de distancia del núcleo. Estas cifras nos llevan a concluir que el 99.9999999999% del volumen de un átomo es sólo espacio vacío.

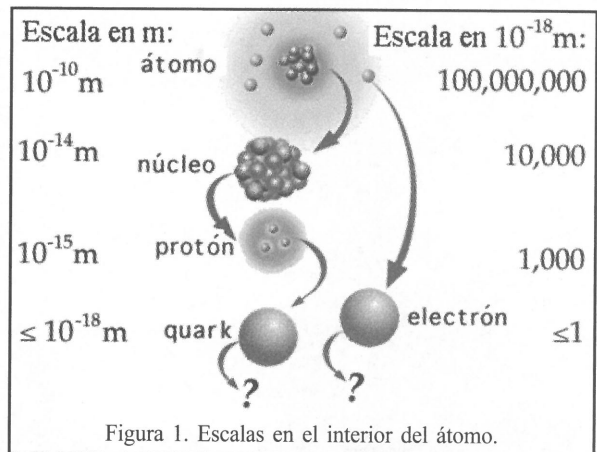


Figura 1. Escalas en el interior del átomo.

En conmemoración de los 100 años de la publicación de cuatro artículos que marcaron el desarrollo de la física del siglo XX, escritos por Albert Einstein; ha sido declarado el 2005 como el Año Mundial de la Física.

\* Instituto de Física, Universidad de Antioquia, Medellín – Colombia.

\*\* Departamento de Física, Universidad del Valle, Cali Colombia - josorio@fisica.uv.edu.co