

## MATERIA, ESPACIO y TIEMPO

**Eduardo Flores Castro**

Catedrático de Física de la Universidad de Panamá

Los que hemos escogido la ciencia como razón de ser de nuestras vidas, estamos en la obligación de hacernos comprender en torno a los métodos y conceptos científicos, a la etapa del conocimiento de la naturaleza en que nos encontramos, y lo que se debe hacer para la preservación de la especie humana. En éste sentido, preguntas como: ¿Qué es la materia? ¿A qué se le llama espacio? y ¿Qué entendemos por tiempo?, las cuales han sido abordadas por la humanidad durante toda su historia, las deseamos enfocar en este ensayo desde el punto de vista de la Física, además de señalar algunas de sus implicaciones.

### MATERIA

En términos generales la materia es aquello de lo que están hechos los objetos que constituyen el universo observable. La materia tiene dos propiedades que juntas la caracterizan: ocupa un lugar en el espacio y tiene masa. La masa es una magnitud física fundamental que puede considerarse como la medida de la cantidad de materia que tiene un cuerpo y además determina sus propiedades inerciales y gravitatorias.

En el Sistema Internacional la unidad de masa es el kilogramo, y se define como la masa igual a la masa del kilogramo prototipo internacional, que se conserva en la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (Sevres, París). El prototipo del kilogramo es un cilindro de platino e iridio de dimensiones específicas. En vista que el kilogramo es la única unidad que en el Sistema Internacional, se define a través de un artefacto, se plantea reemplazar su definición por alguna que involucre constantes universales. Una de las definiciones propuestas se basa en la constante de Planck, lo que permitiría determinar el kilogramo a partir de un cierto número de fotones de determinada frecuencia; mientras que otra definición propuesta se basa en el número de Avogadro.

La materia junto con la energía son las bases de los fenómenos objetivos. Como explicó el físico alemán Albert Einstein, la materia y la energía son interconvertibles, de tal modo que se podría decir que la materia es energía superconcentrada y que la energía es materia superdiluida.

La materia es todo lo que está compuesto por partículas elementales. La materia se organiza jerárquicamente en varios niveles. El nivel más complejo es la agrupación en moléculas y éstas a su vez son agrupaciones de átomos, los cuales están compuestos por electrones, protones y neutrones. Además, hay todo un conjunto de partículas subatómicas que acaban finalmente en los quarks, constituyentes últimos de la materia.

No es de extrañar que algunas veces pensemos en los materiales sólidos, v.g. un trozo de hierro, como un objeto en que las partículas materiales que lo conforman llenan todo el espacio que el ocupa. Sin embargo, esto no es así; ya que si tenemos un centímetro cúbico de un material metálico, más del 99,99 % del espacio que el ocupa está excepto de material, es decir vacío. La sensación de solidez de los materiales es producto de la interacción electromagnética y los diferentes enlaces químicos.

### **Masa Relativista**

La masa de un cuerpo se incrementa a medida que su rapidez aumente, tendiendo a infinito cuando su rapidez se aproxima a la rapidez de la luz. En 1909 el físico alemán Alfred Bucherer confirmó por primera vez el incremento de masa debido a la rapidez del cuerpo, en un experimento realizado con partículas beta (electrones) emitidas por sustancias radiactivas.

En física moderna el Principio de Conservación de la Masa se integra al Principio de la Conservación de la Energía. El concepto moderno es el Principio de la Conservación Masa-Energía, el cual señala que: la masa y la energía (energía relativista total) de un sistema aislado permanece constante. Un ejemplo de un sistema que transforma masa en energía, es la energía más importante para la vida en nuestro planeta, es decir la que proviene del Sol.

### **Nos Hace Falta Materia**

El universo está básicamente compuesto de hidrógeno y helio. El 75 % de la materia conocida del universo se encuentra en forma de hidrógeno, y el 24 % por helio. El restante 1 % de la materia conocida está compuesta por el resto de los 109 elementos del sistema periódico.

En 1932, el astrónomo holandés Jan Oort midiendo los movimientos perpendiculares de estrellas cercanas con respecto a la Vía Láctea, su influencia gravitatoria y la masa del disco de la galaxia, determinó que existía un faltante de masa en nuestra galaxia que explicara estos movimientos.

Todos los objetos celestes visibles conocidos hoy en día (estrellas, planetas y nubes de polvo) justifica solamente el 10 % de la masa del universo. Es decir, del total de materia que forma el universo, sólo es materia conocida el 10 % de ella, el resto es masa que falta y, dado que no la hemos podido detectar, los físicos la hemos denominado "*materia oscura*". En la actualidad se considera que la materia oscura son partículas elementales exóticas (v.g. neutrinos y/o axiones) cuya interacción con la materia ordinaria es muy débil.

### **ESPACIO**

El espacio expresa el orden de existencia de los objetos individuales. En la física clásica el sistema de referencia es un Espacio Euclideo de tres dimensiones donde cualquier posición puede ser descrita mediante tres coordenadas cartesianas. El espacio también puede ser entendido como la estructura que define un conjunto de relaciones espaciales entre objetos, e impide y acota el contacto entre sus elementos. De aquí que el espacio actúe como receptáculo para la existencia de los objetos, y permite el movimiento y la dinámica física.

El espacio-tiempo describe las formas fundamentales de existencia de la materia. Las propiedades del espacio-tiempo se clasifican en:

Métrica: extensión y duración.

Topológica: dimensión, continuidad, conexidad, orden y dirección.

Al igual que la masa hay que responder a la pregunta como y con que unidad se mide la longitud. A esto, el Sistema Internacional señala que la unidad de longitud es el metro, y está definida en base a la distancia que recorrida la luz durante un tiempo específico.

Desde el punto de vista filosófico, las ideas de Demócrito, subyacen en las teorías newtonianas de espacio absoluto y de tiempo absoluto. Mientras que las ideas de Leibniz, en donde el espacio, el tiempo y los objetos están relacionados entre sí, están presentes en la Teoría de la Relatividad de Einstein.

### **Espacio Relativista y Cuántico**

De acuerdo a la Teoría de la Relatividad Especial, la longitud de un cuerpo disminuye a medida que su rapidez aumenta, tendiendo a cero cuando la rapidez del cuerpo se aproxima a la rapidez de la luz.

La Teoría de la Relatividad General señala que la gravedad está relacionada con la curvatura del espacio. Para entender mejor este enunciado, consideremos el siguiente experimento mental: Supongamos que vivimos en un mundo de dos dimensiones, es decir, en un espacio sin profundidad. Cuando no existe materia alguna el espacio es plano; si colocamos ahora una estrella debajo de nuestro universo plano, debido a la atracción gravitatoria que produce la masa de la estrella, el espacio se curva en la vecindad de la estrella.

En la física cuántica, se tiene la imposibilidad de conocer con exactitud y simultáneamente la posición y la velocidad de una partícula; esta limitación está dada por la desigualdad de Heisenberg. Por otra parte, en el micromundo las partículas no siguen trayectorias bien definidas, por lo que no es correcto asignarle una trayectoria a una partícula; lo más que podemos es decir que hay una determinada probabilidad de que la partícula se encuentre en una posición más o menos determinada.

### **El Universo en Expansión**

La Teoría de la Relatividad General de Einstein, publicada en 1917, que trata sobre la naturaleza de la gravitación que rige en el universo, predecía que el espacio-tiempo había de estar en expansión. Fue en 1922, cuando el físico ruso Alexander Friedmann demostró que no se podía esperar que el universo fuese estático. Sus ecuaciones sugerían los dos conocidos modelos de Friedmann: el universo abierto y el universo cerrado. El universo abierto, implica que se amplía por siempre, durante un tiempo infinito. Cuando todas las estrellas se agoten, el universo crecerá frío y en oscuridad; a esta última fase del universo es a la que se le denomina la **muerte térmica del universo**. En la teoría del universo cerrado, se sostiene que después de alcanzar un valor límite de expansión, el universo empezará a contraerse hasta que la materia se derrumba dentro de una singularidad, en la que los físicos denominamos el Big Crash (Gran Contracción).

La comprobación experimental de la expansión del universo, la dio, en 1929, el astrofísico estadounidense Edwin Hubble. Después de localizar e identificar diferentes galaxias, observó que se alejaban de nosotros con rapidez proporcional a sus distancias. Esta observación tenía implicaciones perturbadoras: el universo no es estático, y en tiempos anteriores los cuerpos celestes habían de estar más próximos; por lo que en el "tiempo cero", el universo estaba totalmente concentrado.

En 1948, el físico ruso George Gamow planteó que la formación del universo pudo realizarse a partir de una gran explosión. El modelo del *Big Bang*, sostiene que el universo comenzó a existir bruscamente, hace unos 15 000 millones de años, en una gigantesca explosión. La expansión que hoy observamos no es sino un vestigio o rastro de la explosión inicial. En aquel instante, la materia estaba concentrada en un estado

de densidad y temperatura infinitas; desde entonces, el universo va perdiendo densidad y temperatura.

El modelo de Gamow predecía la existencia de una radiación cósmica de fondo, producto de la energía remanente del Big Bang que dio origen al universo. Esta radiación postulada teóricamente en 1948, fue detectada por primera vez por el físico alemán Arno Penzias y el físico estadounidense Robert Wilson en 1964.

Las estrellas fabrican, a partir del hidrógeno, los elementos químicos mediante reacciones nucleares que tienen lugar en el curso de su evolución. Esta teoría da como resultado la abundancia para cada elemento que concuerdan con las observaciones, excepto en el caso del helio. Mientras la predicción de la abundancia del helio es de 3 %, las mediciones de este elemento en el universo están en el orden de 25 %. La pregunta inmediata es ¿De donde ha salido el exceso de helio del universo? La respuesta la da el Modelo del Big Bang, en donde señala que en un inicio la densidad y la temperatura era lo suficientemente elevadas que facilitó la síntesis del helio.

## **TIEMPO**

El tiempo es la duración de las cosas sometidas a cambio, por lo que permite medir su variación. De aquí, que posibilita ordenar los sucesos en secuencias, estableciendo un pasado, un presente y un futuro; expresando el orden de mutación de los fenómenos.

En física clásica, el tiempo es una variable que hay que añadir al espacio, para poder situar con precisión cualquier objeto y su movimiento. Eso está de acuerdo con la concepción del filósofo alemán Immanuel Kant, que establece el espacio y el tiempo como necesarios para cualquiera experiencia humana.

Así como la masa y la longitud, en el Sistema Internacional también establece el tiempo como magnitud fundamental; donde su unidad es el segundo, la cual está definida como un número de veces específico del tiempo que dura la transición energética entre dos niveles del átomo de cesio 133.

### **Tiempo Relativista**

En la Teoría de la Relatividad el tiempo depende del observador. El tiempo medido por un observador en reposo de un evento en movimiento, aumenta a medida que la rapidez aumenta, tendiendo a infinito cuando la rapidez del evento se aproxima a la rapidez de la luz. Esta teoría, considera el tiempo como una dimensión espacial adicional, por lo que el concepto con que se trabaja es el de espacio-tiempo.

Supongamos que dos hermanos gemelos uno se queda en la Tierra, mientras que el otro realiza un viaje al espacio en una nave que se mueve a rapidez próxima a la de la luz. Si después de unos años de viajar por el espacio el gemelo astronauta regresa a la Tierra. ¿Habrá transcurrido el tiempo igual para los dos? ¿Qué hermano habrá envejecido más? Ambos piensan que su otro hermano debe ser más joven, ya que cada uno percibía que el otro era el que se estaba moviendo. La solución a esta aparente paradoja está en que el piloto de la nave tuvo que acelerar al salir de la Tierra y luego frenar para aterrizar en ella, por lo que los dos sistemas no eran totalmente equivalentes. La Teoría de la Relatividad señala que el que ha estado sujeto a los cambios de velocidad, su tiempo ha transcurrido más lentamente. Por lo tanto el gemelo astronauta será más joven que el que ha permanecido en la Tierra.

Experimentalmente se ha comprobado que, cuando se sincronizan dos relojes de gran precisión, y uno de ellos se somete a un viaje a gran velocidad en un avión; al retorno del avión, se detecta su reloj está ligeramente retrasado con respecto al que se quedó en tierra.

### **La Dirección del Tiempo**

El Segundo Principio de la termodinámica, (según el filósofo francés Henri Bergson, la más metafísica de las leyes de la física), al señalar que en los sistemas aislados la entropía aumenta, proporciona un criterio para decidir la orientación temporal. El físico austriaco Ludwig Boltzmann, sostenía que la reversibilidad no se da no por ser absolutamente imposible, sino porque es altamente improbable. El aumento de la entropía nos permite distinguir entre el pasado y el futuro. Este hecho se conoce como "*flecha termodinámica del tiempo*".

A partir del estudio de los sistemas alejados del equilibrio, algunos autores, como el físico ruso Ilya Prigogine, han destacado el carácter esencialmente irreversible del tiempo, de forma que dicha irreversibilidad no depende solamente de la pequeñísima probabilidad de que un suceso que genera mayor entropía pueda darse a la inversa, sino que el carácter direccional del tiempo y su irreversibilidad le son propias. En este contexto se sitúan también las investigaciones sobre el caos, que permiten explicar fenómenos de autoorganización a partir de sistemas sin estructuras aparentemente definidas.

Los sistemas que disipan energía, son irreversibles y evolucionan hacia el desorden. Lejos del equilibrio la materia desarrolla nuevas propiedades: sensibilidad a influencias del entorno, posibilidad de estados múltiples y se crean nuevos estados irreversibles.

Nuestro universo es el resultado de una transformación irreversible y proviene de otro estado físico, no del vacío cuántico. La transformación del espacio-tiempo en materia, en el momento de la inestabilidad del vacío, corresponde a una explosión de entropía, a un fenómeno irreversible.

Si se hace una analogía entre los sistemas físicos y los sociales, se podría plantear que: cuando los sistemas sociales se encuentran en crisis, se hacen más sensibles a influencias externas, se crean múltiples posibilidades de evolucionar a otras situaciones también de crisis o autorreguladas, pero todas estas posibilidades serán siempre irreversibles.

### **Noción del Tiempo**

Para concluir, podemos señalar que existen diversas posibilidades de entender y percibir el tiempo, entre las que podemos señalar las siguientes:

Tiempo físico: Es el tiempo medido utilizando como referencia el movimiento periódico de cuerpos. El tiempo físico puede ser: clásico, relativista, irreversible y/o caótico.

Tiempo psicológico: Es aquel en donde el aburrimiento hace que los eventos parezcan más lentos, o que el deleite de una situación nos hace sentir que el tiempo transcurre rápidamente.

Tiempo fisiológico: Es el dependiente de las modificaciones del cuerpo y de sus actividades vitales durante el transcurso de nuestra existencia. A medida que envejecemos nuestro reloj biológico se hace más lento, por lo que los eventos exteriores nos parecen más rápidos, de aquí que percibamos que los días y los años pasan rápidamente. Debido a que

la infancia y adolescencia son periodos de crecimiento, nuestro reloj interno va más de prisa; causando que nuestra sensación de los eventos los percibamos lentamente. Es tal vez por esta razón que nuestros recuerdos de adulto son básicamente de nuestra infancia y adolescencia, ya que éste periodo de la vida llenó predominantemente nuestra memoria.

Tiempo metabólico: Es la generalización del tiempo fisiológico a todos los seres vivos. Bajo este enfoque, la percepción del tiempo de todos los animales está relacionado con su metabolismo. Mientras más acelerado sea el metabolismo de un animal, más lento le parecerá los sucesos a su alrededor. Estas ideas están relacionadas en el hecho de que la frecuencia de los latidos cardiacos de los animales (la cual es proporcional a su metabolismo) es inversa a sus vidas medias. De aquí que es probable que los 2 años de vida de un ratón, o los 12 años de vida de un perro, sea experimentados por estas especies con la misma duración con que un humano percibe 80 años.

Un hecho que podría contribuir a sustentar el concepto de tiempo metabólico, es que el número medio total de latidos cardiacos de todos los mamíferos es aproximadamente el mismo. Los mamíferos tenemos, en promedio durante toda nuestra vida, 1 500 millones de latidos. Algunos animales agotan sus 1 500 millones de latidos en menos tiempo que otros, sin embargo, es probable que la sensación del tiempo de vida para todos sea el mismo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

1. Bergson, H. (1973). La Evolución Creadora, Editorial Espasa-Calpe, España.
2. Chamil, C. (2001). Luz Interior. Editorial Metatemas. México.
3. Flores, E.; Moreno, E. y Rosales, N. (2006). Ciencias Físicas o Filosofía de la Naturaleza. Producciones Científicas, Panamá.
4. Prigogine, I. (1991). El Nacimiento del Tiempo. Editorial Tusquets, Barcelona.
5. Hawking, S. (2005). Historia del Tiempo: Del Big Bang a los Agujeros Negros. Editorial Crítica, Madrid.