

## El tiempo como concepto científico\*

■ ■ José Rubén Morones Ibarra\*\*

Los conceptos de *tiempo y espacio* son tan fundamentales y familiares que por mucho tiempo nadie se preocupó por definirlos. El tiempo, el espacio y la materia son conceptos que pertenecen a la categoría de las cosas que todos comprendemos pero que cuando tratamos de definirlos nos encontramos con serias dificultades. San Agustín, en su libro *Confesiones*, dice: “si nadie me pregunta qué es el tiempo, yo sé lo que es, pero si me piden que les explique lo que es el tiempo, no sé qué decir”.

Resulta paradójico que los conceptos más familiares, como los mencionados en el párrafo anterior, sean los más difíciles de explicar o de precisar. Hay una anécdota donde se dice que Sócrates, en la antigua Grecia, le pidió al sabio Hipias que le diera una definición de lo que es la belleza, otro concepto que manejamos con mucha familiaridad en el lenguaje coloquial. Al intentar explicar Hipias este concepto lo único que logró fue darse cuenta que sólo podía dar ejemplos de algo bello, pero no definir la belleza en forma general. Sin embargo, aun cuando la belleza es subjetiva, es decir, depende del sujeto que esté haciendo la valoración de si algo es bello o no, el concepto de belleza en la ciencia tiene ahora una definición precisa. En la actualidad existe un consenso de lo que en la ciencia puede llamarse *bello*. La belleza la podemos definir a través de las matemáticas en términos del concepto de simetría. No obstante, el tiempo, el espacio y la materia, siguen manteniéndose en la categoría de los conceptos indefinibles que, como en el caso de una teoría o una estructura matemática, son parte de los elementos básicos que se requieren para construir la estructura de la ciencia.

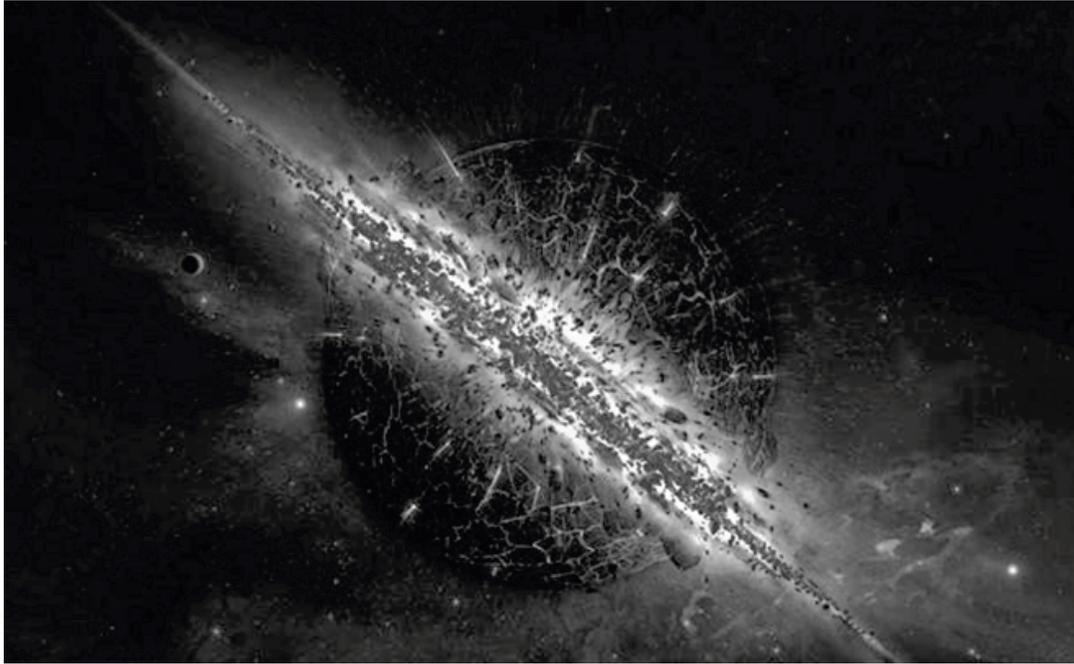
La semejanza mencionada anteriormente entre espacio, tiempo y materia, y los conceptos o elementos indefinibles que aparecen en matemáticas es en realidad más que fundamental, es algo estructural de cualquier teoría. Inclusive en un diccionario, encontraremos siempre las definiciones circulares, es decir, repeticiones de las mismas palabras en las definiciones de estas. El tiempo es, de cierta manera, similar a los conceptos indefinibles que aparecen en matemáticas, que son aparentemente obvios y triviales pero que se toman como no definidos. Se dan de entrada, como cimientos para poder levantar el edificio de la ciencia. Si usamos un diccionario del inglés para aprender este idioma, no podremos avanzar absolutamente nada en nuestro aprendizaje, pues las definiciones de las palabras están también en inglés. Para tener algún progreso en el estudio del nuevo idioma es necesario tener un mínimo de conocimientos sobre el mismo. Este mínimo, además del lenguaje y de la lógica, es en la matemática o en la ciencia lo que se establece sin explicación, esto es, los conceptos no definidos.

El distinguido físico norteamericano Richard Feynman, decía que el tiempo es lo que pasa cuando nada pasa. Esta observación tiene algo de intuición, pero no es admisible desde el punto de vista de la física puesto que, si nada pasa, entonces tampoco pasa el tiempo, ya que no existe ningún proceso que indique que algo está cambiando. Esto es como si el tiempo se congelara. De hecho, existe el concepto del “fin del tiempo”, que es válido para un universo abierto, del que hablaremos después, donde se llega a un estado donde no se produce ningún cambio, de ningún tipo. Como no existen dos acontecimientos, no existe el ahora ni el después y el tiempo carece de sentido. De hecho, en este caso podemos hablar de la muerte del tiempo o del final del tiempo.

En el intento de contestar a la pregunta ¿qué es el tiempo?, se nos ocurre agregar a ésta algunas otras preguntas más: ¿Tiene el tiempo existencia real, es decir, posee el tiempo una realidad independiente o es

\*Publicado en el número 49 (marzo de 2007, pp.66-74).

\*\* Licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas egresado de la UANL. Estudios de Maestría en Físico Teórico en la UNAM y Doctorado en Físico Nuclear Teórico en la Universidad de Carolina del Sur en Estados Unidos. Profesor investigador de la Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas de la UANL y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI), Nivel I, y de la Academia Mexicana de Ciencias.



La teoría del *Big Crunch* dice que el universo regresaría a su origen.

simplemente algo subjetivo que se muestra como una sucesión de eventos?, ¿tiene el tiempo un principio?, ¿tiene un final?, ¿cómo se inició el tiempo? En este artículo el *tiempo* del que hablaremos es el relacionado con el concepto científico, no el tiempo psicológico, o el asociado con ideas filosóficas. El tiempo como tema de un análisis científico es el tiempo que se puede medir. Después de la revolución en el conocimiento provocado por la aparición del método científico, las especulaciones filosóficas de los sabios de la Grecia clásica fueron tomadas por los científicos como guía para establecer las relaciones donde este interviene.

En los modelos actuales del universo tenemos dos posibilidades para el futuro del universo: Un universo cerrado, donde el universo en expansión que observamos actualmente detendrá su expansión e iniciará una contracción que terminará en lo que se ha llamado “Gran Colapso” (o *Big Crunch*). A este gran colapso le seguirá una nueva “Gran Explosión” (o *Big Bang*), repitiéndose estos ciclos indefinidamente. Por otra parte, el otro modelo es el de universo abierto, donde el universo continuará como hasta ahora, expandiéndose indefinidamente. En este último caso, el final del tiempo ocurrirá con lo que se ha dado a llamar “la muerte térmica del universo”. Según este modelo, en esta etapa de la evolución del

universo no se producirá ningún proceso, ni físico, ni químico ni biológico. Los cambios en el universo habrán terminado y esta sería su etapa final. En estas circunstancias el tiempo se detiene, no habrá nada que mida el tiempo porque nada cambiará, la energía estará distribuida uniformemente y no será utilizable. No habrá procesos de ninguna naturaleza que marquen una diferencia en el ahora y el después. Sin eventos que marquen el paso del tiempo, este ni siquiera puede ser definido, de hecho, no habrá nada ni nadie que lo pueda registrar o definir. En una situación como esta, el universo estaría muerto.

## Concepciones primitivas del tiempo

Los fenómenos repetitivos o periódicos de duración más o menos larga, como las estaciones del año y el movimiento aparente del sol durante ellas, originaron la idea del tiempo cíclico, la cual se vio reforzada con otros fenómenos o procesos.

Existe una celebración muy antigua que ahora corresponde a la celebración de la Navidad, asociada con aspectos religiosos, pero que en sus orígenes se relacionó con el movimiento del sol. El sol, en su movimiento aparente hacia latitudes menores de junio a diciembre en el hemisferio norte, provoca el

acortamiento del día y la prolongación de la noche. Imaginemos a una sociedad primitiva europea, por ejemplo, que observe que el sol “los visita” durante menos tiempo cada día. Por supuesto que este fenómeno debió haber causado pánico y una gran preocupación en la sociedad, porque esto viene asociado con fríos, nevadas, heladas y, en general, el descenso de la temperatura y la muerte, si esto se prolonga. Pero este movimiento aparente del sol, con su consecuente disminución de la duración del día, se detiene el 23 de diciembre y empieza el proceso inverso. Este momento debe ser motivo de gran celebración, pues lo que se creía que terminaría en una especie de invierno eterno y una noche sin fin, se interrumpe iniciándose un proceso en reversa, donde la temperatura en promedio empieza a aumentar y la vida vuelve a manifestarse en el florecimiento de las plantas. Éste es el verdadero origen de las celebraciones de diciembre, cuando se observaba que el sol detenía su marcha hacia el sur y regresaba.

En la época de los griegos el tiempo era considerado cíclico debido al fenómeno mencionado; la Tierra se cubría de hielo en invierno, pero la vida volvía a resurgir en la primavera. Se hablaba de los ciclos de la vida. La luna y los planetas tienen ciclos y en la tierra se observan los ciclos estacionales. Esto llevó a la creencia de que todos los eventos deben ser cíclicos, dando origen a la idea de tiempo cíclico. En la actualidad consideramos al tiempo como una línea recta donde los eventos ocurren en sucesión desde el pasado hacia el presente y el futuro. Esta forma de concebir el tiempo, que destruye la idea cíclica, permite incorporar el concepto de progreso, de evolución y transformación hacia el mejoramiento. La concepción cíclica del tiempo, donde las mismas cosas están destinadas a repetirse una y otra vez, no admite la idea de progreso y evolución.

## ¿Cómo se mide el tiempo?

El concepto científico de tiempo requiere, como toda cantidad o concepto físico que se define en la ciencia, un procedimiento para medirlo. Por supuesto que los primeros relojes fueron los que la naturaleza exhibe: los días, los períodos lunares, las estaciones del año, etcétera. Después vinieron los relojes de sol y posteriormente los relojes de agua. Según algunos datos históricos, entre las primeras mediciones del tiempo basadas en dispositivos artificiales, encontramos las realizadas por algunas prostitutas

egipcias hace cinco mil años. El método de medición consistía en colocar un plato metálico con un pequeño agujero en el fondo, en un baño con agua. El agua empezaba a entrar al plato por el orificio y cuando había llegado a cierto nivel el plato se hundía. Este era el intervalo de tiempo que duraban los servicios de la prostituta por el pago convenido. Esta historia curiosa dio lugar al nacimiento de los relojes de agua, que según parece también los inventaron los egipcios, dándole el nombre de *clepsidra*. Posteriormente vendrían los relojes de arena.

Antes de que se inventaran los relojes, el amanecer y el anochecer marcaban las divisiones del tiempo, definidas por el quehacer y las labores cotidianas. Con la invención de los relojes el concepto de tiempo adquiere otro significado, convirtiéndolo en algo abstracto que se mide con aparatos. La medición del tiempo senta las bases para el estudio del movimiento, introduciendo el tiempo como una variable en la física, es decir, como una cantidad física medible.

Los conceptos de *velocidad* y *aceleración* aparecieron como consecuencia de la posibilidad de medir el tiempo. La idea Aristotélica sobre la caída de los cuerpos, posiblemente no fue puesta en duda debido a que no se le dio en esa época la importancia que el tiempo podía tener en la descripción del fenómeno del movimiento. No se había desarrollado un marco teórico para hablar de la velocidad y menos de la aceleración. Posiblemente se pensaba que los objetos caían a velocidad constante, pero es realmente difícil especular sobre esto porque no se tenían concepciones teóricas para hacer análisis. Isaac Newton requirió el empleo de mediciones precisas de tiempo, llevadas, aunque sólo fuera teóricamente, a intervalos muy pequeños. El cálculo diferencial lo inventó Newton porque necesitaba una herramienta para estudiar la evolución temporal de los sistemas físicos. De hecho, el cálculo diferencial se considera como la ciencia de la variación y del cambio.

Las técnicas experimentales para medir el tiempo iniciaron con precisiones de segundos, como los latidos del corazón que fue lo que Galileo Galilei utilizó para determinar la isocronía de las oscilaciones de un péndulo. Posteriormente, el reloj de péndulo, inventado por el físico holandés Christian Huygens en 1657, se apoyaba en la propiedad de este aparato descubierta por Galileo, que consiste

en que sus oscilaciones son casi isócronas, esto es, son periódicas con duraciones casi iguales. Después de que se desarrollaran los relojes de péndulo y de engranes se pudieron medir hasta décimas de segundo. Algún tiempo después, con la introducción de los impulsos eléctricos se pudieron medir milésimas y hasta millonésimas de segundo. Con la aparición de los láseres se pudieron medir hasta nanosegundos (milmillonésimas de segundo) y posteriormente hasta picosegundos (billonésimas de segundo). Por otra parte, la existencia de partículas que tienen vidas medias más pequeñas que un picosegundo, permitiría medir tiempos más cortos. Los procesos más cortos que se conocen, aunque no sea posible medirlos, son los de creación y desintegración de las resonancias nucleares.

Un reloj atómico es un instrumento que utiliza la frecuencia de oscilación entre dos estados de energía de un átomo o de una molécula. Una característica de estas oscilaciones es que, dentro de límites muy amplios, no son afectadas por agentes externos. Estos relojes se usan como patrones, para establecer la calidad de otros relojes; están en los laboratorios y no se usan como relojes de pulsera. Los relojes de uso comercial o personal de mayor precisión, usan cristales de cuarzo y su funcionamiento está basado en el efecto piezoeléctrico.

En relación con los intervalos de tiempo, debemos distinguir dos aspectos distintos. Una cosa es el intervalo de tiempo que podemos medir, siendo el más corto de estos intervalos el de  $10^{-18}$  segundos y otro asunto, es el suceso de menor duración que se ha observado. La medición del intervalo de  $10^{-18}$  segundos se logró mediante el uso de pulsos láser. En cuanto al intervalo de tiempo más corto de  $10^{-24}$  segundos, este se presenta en las reacciones nucleares, en la formación de partículas resonantes, como la partícula conocida como *mesón Ro*. La estimación, no la medición de este intervalo, se hace debido a que estas partículas resonantes no dejan huella en la cámara de niebla. Este tiempo de  $10^{-24}$  segundos es el tiempo que tarda la luz en recorrer una distancia equivalente al diámetro de un núcleo atómico. Un tiempo increíblemente corto, que escapa por mucho a la capacidad de imaginación de cualquier persona.

Viendo los refinamientos que se han hecho en las mediciones del tiempo, resulta que el tiempo aparenta ser un continuo que se divide en días,

horas, minutos, segundos y fracciones de segundo sin imponerse ninguna restricción en cuanto a qué tan pequeño puede ser un intervalo temporal. El espacio, similarmente, se puede dividir en metros, centímetros, milímetros y fracciones de milímetro, sin que aparentemente haya ningún límite inferior para la magnitud de los intervalos espaciales. Sin embargo, este análisis puede no ser correcto a escalas muy pequeñas de tiempo y de espacio. Es posible que el tiempo esté fragmentado o cuantizado, como la energía u otras cantidades físicas, como el momento angular que cuantiza al espacio.

## El tiempo en la física

El concepto tiempo ha sufrido cambios en el estudio de los fenómenos físicos. Para Newton, el tiempo, por su propia naturaleza, fluye permanentemente sin cambio y sin relación con ninguna cosa externa. El tiempo resulta ser, en la mecánica newtoniana una cantidad universal, igual para todos los observadores.

Contrariamente, en la teoría de la relatividad, el tiempo es una variable física cuyo valor depende del observador. La relatividad predice que el intervalo de tiempo entre dos eventos que ocurren en un mismo lugar, es mayor para un observador en movimiento que para uno fijo en la Tierra. Este hecho se ha comprobado experimentalmente múltiples veces colocando relojes de alta precisión en aviones que han dado la vuelta a la Tierra y comparado sus mediciones con los relojes que han permanecido en reposo en los laboratorios. Otras pruebas de esto se realizan diariamente en los laboratorios de partículas de alta energía de todo el mundo, confirmando las predicciones de la teoría de Albert Einstein.

En la relatividad general, el espacio se distorsiona con la presencia de materia y así mismo, ocurriendo lo que se conoce como “curvatura del espacio-tiempo”. En la física anterior a Einstein, el espacio no era más que el escenario donde ocurren los fenómenos físicos, sin que éste influyera en ellos ni recíprocamente, y lo mismo ocurría con el tiempo. Ahora, en la relatividad general, espacio y tiempo son variables dinámicas que interactúan con la materia influyendo en sus procesos. El espacio y el tiempo resultan alterados con la presencia de materia y a la vez esta modificación del espacio-tiempo, llamada la “curvatura del espacio-tiempo”, influye sobre la dinámica de la materia. Como lo diría el físico alemán Hermann Weyl: “El espacio-tiempo al curvarse le dice

a la materia como moverse y a la vez la materia le dice al espacio-tiempo como curvarse”.

Según nuestra percepción, el tiempo tiene la característica muy peculiar de que, además de ser unidimensional, es también unidireccional. El espacio tiene tres dimensiones, que podríamos llamar largo, ancho y alto, y nos podemos mover hacia delante o hacia atrás en cualquiera de ellas, o para arriba o para abajo en la dirección vertical. En el caso del tiempo, esto no ocurre; la experiencia humana y el estudio objetivo de los fenómenos naturales a la escala del hombre, indican que el tiempo siempre “fluye” hacia el futuro, es decir, los procesos observados son irreversibles. La máquina del tiempo sugerida por Julio Veme es aparentemente imposible de construir.

Asombrosamente, en el mundo de las partículas atómicas y subatómicas el tiempo carece de sentido. Ahí se puede viajar hacia el pasado y hacia el futuro. Lo que ocurre a la materia en estas escalas está más allá de nuestra percepción y de la comprensión humana. Sin embargo, la física, cuyos alcances parecen ilimitados, ha podido desentrañar algunos de los misterios de este mundo subatómico. Como veremos más adelante, tal parece que el tiempo irreversible tiene su origen en un asunto de naturaleza estadística.

Un ejemplo de materia que no envejece lo encontramos en la desintegración radiactiva de los núcleos atómicos. Los núcleos atómicos radiactivos, por ejemplo, decaen espontáneamente. Nunca sabemos qué núcleos van a decaer en el próximo segundo, pero sí podemos decir cuántos decaerán. Si en una muestra de material radiactivo, colocamos una mezcla de núcleos que fueron creados hace miles o millones de años y otros del mismo tipo, pero que fueron creados hace solo un día, la probabilidad de que decaigan los núcleos más “jóvenes” es idéntica a la de que se desintegren los más “viejos”. En este sentido decimos que los núcleos radiactivos no envejecen. No ocurre como en el caso de los seres vivos complejos, como los mamíferos, donde la probabilidad de que muera un ejemplar viejo es mayor que aquella para un ejemplar joven.

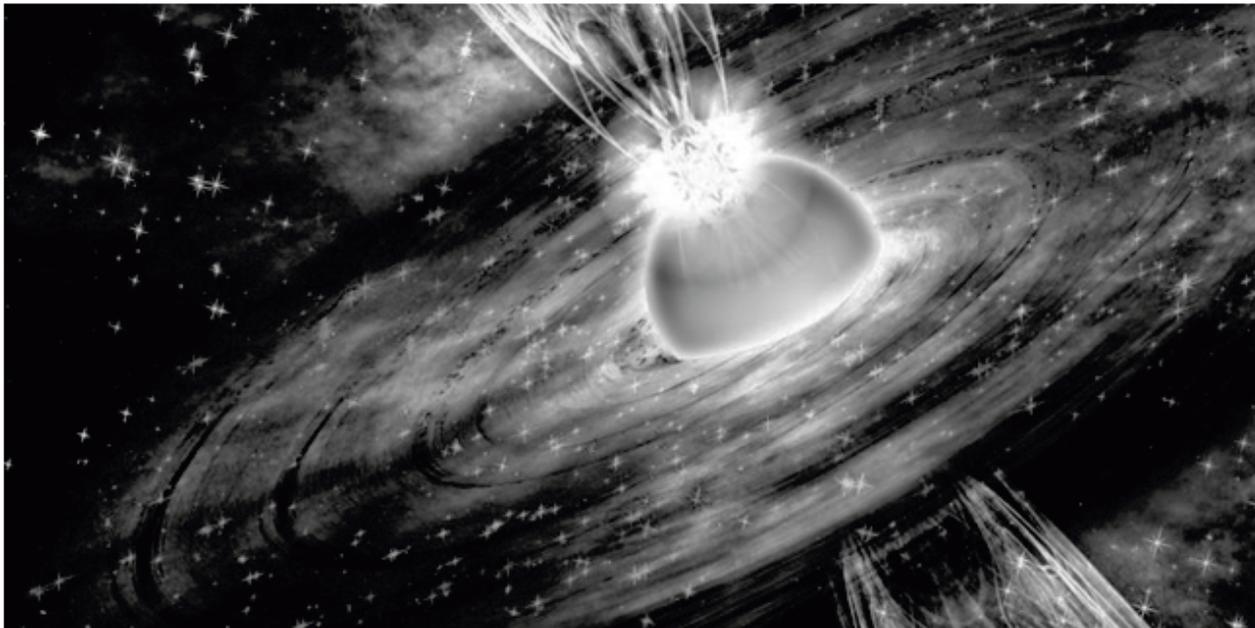
Todas las leyes fundamentales de la física son invariantes ante la transformación  $t \rightarrow -t$ . Esto significa que si tomamos una película de un proceso físico y esta película la pasamos al revés,

no deberíamos notar nada extraño, es decir, no nos daríamos cuenta de que la película se está mostrando en sentido inverso al que fue tomada. Pero sabemos que esto no sucede. No hay nada en las leyes de la física que impida que una partícula viaje hacia el pasado, sin embargo, los fenómenos de la vida diaria nos señalan un tiempo que se dirige hacia el futuro, jamás hacia el pasado. Intuitivamente todos tenemos la noción de que el tiempo sigue una sola dirección, como una flecha, donde la punta señala la dirección. Para manejar esto los científicos han introducido la idea de la “flecha del tiempo”.

Los físicos han encontrado tres maneras independientes que permiten definir una “flecha del tiempo”. Una de ellas es el *Big Bang* asociado con el universo en expansión, donde el futuro está en la dirección de la expansión. Otra forma de observar el “movimiento” hacia el futuro es mediante las ondas electromagnéticas. Escuchamos en el radio o en la televisión un mensaje que fue transmitido antes no después de escucharlo o verlo. Esto está relacionado con el proceso de causalidad, de causa-efecto. Primero se envía el mensaje y después se recibe, no al revés. Aun cuando las ecuaciones del electromagnetismo poseen dos soluciones para la radiación, una correspondiente a las ondas viajando hacia el futuro, que son las que poseen significado físico y están en armonía con el principio de causalidad, y otras viajando hacia el pasado, estas últimas son desechadas como soluciones por no ser aceptables físicamente, apoyados en argumentos físicos y el principio de causalidad. El tercer fenómeno asociado a la evolución del tiempo siempre hacia el futuro, es el de la *entropía* y es el que consideraremos aquí con más detalle.

## El concepto de entropía

El ser humano tiene por su experiencia una intuición acerca del paso del tiempo, es decir, tiene un “sentido del tiempo”. ¿De dónde proviene esta sensación de que el tiempo pasa? La respuesta la encontramos en nuestra observación experimental de que los días pasan, nosotros envejecemos, las cosas a nuestro alrededor también muestran el paso del tiempo: Se acumula el polvo en los objetos abandonados, se enmohecen los objetos de hierro, las cosas se van desgastando, los niños crecen, etcétera. El ser humano elabora en su mente el concepto de pasado; el pasado es lo que podemos recordar. Sin embargo, como concepto complementario al pasado



Si el tiempo se detiene, el universo estaría muerto.

está el futuro. El futuro es algo que en cierta forma desconocemos, pero podemos imaginarlo, lo que no implica que esto que imaginamos sucederá. Sin embargo, el pasado es algo que ya no está con nosotros, como que se nos ha escapado y no podemos cambiarlo. Este “tiempo psicológico”, de que todo parece avanzar en una sola dirección temporal, hacia el futuro y no regresar al pasado, puede establecerse en forma objetiva, apoyados en las leyes de la física. Lo que permite que hagamos esto es la segunda ley de la termodinámica que introduce el concepto de *entropía*. La segunda ley de la termodinámica puede enunciarse de muchas formas, una de ellas es la siguiente: Todo sistema aislado tiende a evolucionar hacia el equilibrio, el cual se consigue cuando la entropía ha obtenido su máximo valor.

Para establecer cualitativamente la entropía es conveniente valernos de algunos ejemplos. Supongamos que colocamos una gota de tinta en un vaso con agua. Al paso del tiempo notaremos que la gota de tinta se mezclará totalmente con el agua produciendo una mezcla homogénea. Este es el estado de máxima entropía para el sistema formado por el agua y la gota de tinta. Una vez llegado a este estado de mezcla homogénea, la probabilidad de que las partículas de tinta se junten para formar una gota quedando como estaba inicialmente, es

prácticamente cero, es decir, decimos que es casi imposible. Un proceso de esta naturaleza se dice que es irreversible.

Como un segundo ejemplo consideremos el caso de las bolas de billar en una mesa, acomodadas formando un triángulo y lancemos la bola proyectil (“el tiro”) contra este paquete de bolas. El resultado de la colisión será que las bolas saldrán dispersadas en todas direcciones, en un estado que podríamos llamar “desordenado” si lo comparamos con el estado inicial. La probabilidad de que a estas partículas una vez en reposo, se les de las velocidades adecuadas para que todas (las quince bolas) terminen en la configuración inicial del paquete triangular, es prácticamente cero, es decir esto es casi imposible. Decimos que el sistema desordenado tiene una entropía mucho mayor que el sistema cuando estaba en paquete. El concepto de entropía está relacionado con el desorden: Cuanto mayor es el desorden, mayor es la entropía.

En todos los procesos naturales la entropía aumenta, es decir, el desorden aumenta, cuando se considera la entropía no solo relacionada al sistema que estamos observando, sino también a su medio ambiente. Si las cosas envejecen es porque la entropía aumenta. Un plato que se rompe, no se reintegra espontáneamente porque la probabilidad

de que esto ocurra es tan pequeña que ni en toda la edad del universo se observaría tal fenómeno. Podremos fabricar un plato nuevo, pero esto requerirá energía lo cual provocará un aumento de entropía en el medio ambiente. Si la segunda ley de la termodinámica se pudiera violar, se podría extraer energía del aire que nos rodea y los carros, los trenes y las fábricas funcionarían sin necesidad de quemar combustible. Lo mismo se podría sacar energía del agua de mar e impulsar los barcos. Una de las formas de expresar la segunda ley de la termodinámica es diciendo que el calor fluye en forma espontánea de los cuerpos calientes hacia los menos calientes. Si se pudiera violar la ley, podríamos sacar calor de la atmósfera y calentar agua hasta el punto de ebullición, o hacer funcionar una máquina de vapor.

Un proceso es reversible si después de que ocurra se pueden regresar las cosas a su situación inicial. Todos los procesos naturales son irreversibles, por eso envejecemos. Si fuera posible revertir los procesos, lo cual equivale a que todos los átomos regresen a las situaciones originales, como en el caso de la gota de tinta colocada en el vaso con agua, entonces podríamos hablar de reversibilidad en el tiempo. La conclusión es que aun cuando todas las leyes de la física son invariantes ante la transformación  $t \rightarrow -t$ , es decir, admiten la inversión temporal, la naturaleza irreversible de los procesos es de origen estadístico.

El desarrollo de la termodinámica, con el estudio de los procesos irreversibles, permitió definir un mecanismo para distinguir el pasado del futuro. Este mecanismo es un elemento para definir una flecha del tiempo.

## Problemas que permanecen sin solución

Se ha especulado que bajo ciertas circunstancias se puede considerar al tiempo viajando hacia el pasado. Hasta el momento no se sabe si el tiempo es un fenómeno lineal que tuvo un principio y evoluciona hacia un final. Kurt Gödel, un matemático austriaco de origen judío, dictó, en el año de 1949, una conferencia en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton que causó asombro en la concurrencia. En presencia del mismo Einstein, Gödel presentó un tipo de soluciones a las ecuaciones de la relatividad general que son cíclicas en el tiempo.

Esto significa que bajo ciertas circunstancias el universo puede regresar a un estado ya pasado y evolucionar de manera idéntica repitiéndose las mismas situaciones que en el pasado. En otros términos, se produciría una sucesión idéntica de fenómenos y procesos que nos llevarían a regresar aquí, donde nos encontramos, usted lector leyendo nuevamente estas mismas líneas dentro de varios cientos de miles de millones de años. No se tendrá la memoria de que esto ya ocurrió porque los estados de elevada entropía por los que se habrá pasado habrán destruido el ordenamiento previo asociado a la memoria. Esta especie de reencarnación en nosotros mismos resulta ser posible sólo en un universo en rotación, ya que ésta es la condición que debe cumplirse para llegar a las soluciones obtenidas por Gödel. Como el universo que observamos no parece estar rotando, esta solución no sería aplicable a nuestro universo.

Después de la conferencia, Einstein declaró que este tipo de soluciones, aun cuando no las conocía, la sola posibilidad de que existieran, le habían inquietado desde que inició los trabajos sobre su teoría de la relatividad general. Dijo que quedaba abierta la discusión del problema y que esperaba que este tipo de soluciones cíclicas pudiera descartarse en base a fundamentos físicos.

Por otra parte, como ya se mencionó, es posible que el tiempo no sea continuo, como no lo es la materia, estando ésta formada por partículas. La mecánica cuántica es una de las teorías fundamentales de la física, donde la luz es tratada como un conjunto de partículas llamadas fotones. Estos fotones son llamados cuantos de luz, algo así como pequeños paquetes de luz. Muchas otras cantidades físicas están también cuantizadas y se espera que, generalizando las ideas de la mecánica cuántica, el tiempo venga también en cuantos o paquetes de un valor mínimo, no continuo.

La teoría electromagnética y la de la gravedad, descrita esta última por las ecuaciones de Einstein de la relatividad general, tienen muchas cosas en común. Cuando la mecánica cuántica se aplica al campo electromagnético da por resultado que la luz se comporta como partículas. La relatividad general es la teoría del campo gravitacional, siendo una teoría sobre la estructura del espacio-tiempo. Aun cuando todavía no se logra cuantizar la gravedad, si esto se consigue implicaría cuantizar el espacio-

tiempo, es decir tener “partículas” de espacio y de tiempo. Lograr desarrollar la teoría cuántica de la gravedad es en este momento la última frontera de la física fundamental.

## La muerte del tiempo

Lo que entendemos por sentido común ha ido cambiando con el tiempo, con los conocimientos que poseemos sobre la naturaleza. En un tiempo el sentido común indicaba que la Tierra era plana o que el sol giraba alrededor de la Tierra cada 24 horas. En la actualidad, ningún razonamiento que implique que la Tierra es plana puede ser asociado con el sentido común y sólo puede relacionarse con la ignorancia. El sentido común debe incluir, además de razonamientos sensatos, los conocimientos más elementales que el hombre actual posee sobre el mundo que nos rodea

En cuanto al tiempo, algunos filósofos han llegado a la conclusión de que este no tiene existencia real. Lo que ocurre, dicen, son sólo cambios o sucesos, siendo éstos los que realmente existen, el tiempo no. Otros pensadores estudiosos de la mente, argumentan que lo único que existe es el tiempo psicológico, el que percibe la mente del hombre. De cualquier manera, nosotros observamos los cambios y los procesos en la naturaleza, y los científicos (y todos los seres humanos también) usan un concepto para hablar de estos fenómenos, a eso le llamamos *tiempo*. El sentido común que nos indica que el tiempo existe no entra en contradicción con ningún hecho observado.

El concepto de tiempo en nuestro cerebro se forma por la sucesión de hechos y la acumulación de información. Cuando alguien incorpora a su conciencia alguna información, ocurre un fenómeno material de ordenamiento de átomos en la corteza cerebral que no existía antes y que guarda la memoria de la información. Este ordenamiento es lo que distingue el pasado del presente; esto permite introducir una definición de pasado, estableciendo como aquello que se puede recordar, mientras que el futuro se desconoce.

Lo que sabemos ahora nos indica que la información se almacena en el cerebro mediante un ordenamiento atómico, constituyendo esto nuestra memoria. Cuando este ordenamiento desaparece, se pierde la información. Según los modelos del universo, éste en su evolución, en el modelo abierto, llegará a un estado de máxima entropía, esto es, máximo desorden y ya no se producirán cambios de ningún tipo. En este estado, el tiempo habrá terminado, habrá llegado la muerte del tiempo.

De cualquier forma, en un universo abierto o cerrado, este morirá en una expansión eterna o en un gran colapso, y este será el fin del tiempo. En un universo cíclico, donde se producirá un nuevo *Big Bang*, se iniciará una nueva cuenta del tiempo repitiéndose esto eternamente, muriendo y resurgiendo el universo, de sus propias cenizas, como el *ave fénix*.