

La concepción científica del tiempo

J. Rubén Morones Ibarra

Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UANL
rmorones@fcfm.uanl.mx

RESUMEN

El concepto tiempo ha preocupado a filósofos y científicos desde las civilizaciones antiguas. El análisis científico y filosófico del tiempo ha provocado interesantes estudios y desarrollos teóricos que desde el punto de vista filosófico no están exentos de controversia. Por otra parte, con el desarrollo y evolución de las teorías en la física, el tiempo, como una cantidad física medible, ha sufrido modificaciones fundamentales. La relatividad especial y la relatividad general introdujeron fuertes cambios en el concepto tiempo.

PALABRAS CLAVE

Tiempo, flecha del tiempo, tiempo absoluto, tiempo relativo.

ABSTRACT

The subject of time has been a concern for scientist and philosophers since the ancient civilizations. The scientific and philosophical analysis of time has triggered interesting studies and theoretical developments which are not free of controversy. On the other hand, with the evolution of theories in physics, time, as a measurable physical quantity, has suffered fundamental modifications. The special and general relativity theories introduced fundamental changes in our concept of time.

KEYWORDS

Time, arrow of time, absolute time, relative time.

INTRODUCCIÓN

El tiempo, algo tan familiar e intuitivo, aparentemente simple y sencillo, presenta verdaderos retos para establecerlo como concepto científico, tratable como tal y medible con precisión. El tiempo ha sido objeto de estudios filosóficos y teológicos desde épocas muy remotas y aún en la actualidad resulta un concepto muy difícil de definir. 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”.

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, al tratar de definirlos nos encontramos con serias dificultades.

Resulta paradójico que los conceptos más familiares, como los mencionados en el párrafo anterior, sean los más difíciles de explicar o de precisar. Se dice





San Agustín de Hipóna [354-430].

que Sócrates en la antigua Grecia le pidió al sabio Hippias 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 Hippias este concepto lo único que logró fue dar ejemplos de algo bello, pero no definir la belleza en forma general. Sin embargo, aún 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 decirse que algo es 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 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. Simplemente, tomando como ejemplo el caso del lenguaje, observamos que al revisar algunas palabras 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 matemática.

Abundando en esta idea, diremos que 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 en general, lo que se establece sin explicación, esto es, los conceptos no definidos.

En cuanto al tiempo, 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. El tiempo en realidad está estrechamente relacionado con el cambio. Un mundo donde no haya cambios es un mundo sin tiempo, algo así como un tiempo congelado. De hecho existe el concepto del fin del tiempo, que es válido para un universo abierto, del que hablaremos después, en el que 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. En este caso se habla de la muerte del tiempo o del final del tiempo.

En el intento de contestar a la pregunta ¿Qué es el tiempo? Se ocurre agregar a ésta algunas otras preguntas más: ¿Tiene el tiempo existencia real, es decir, posee el tiempo una realidad independiente o es simplemente algo subjetivo que se muestra como una sucesión de eventos? ¿tiene el tiempo un principio? ¿tiene un final? ¿cómo se inició el tiempo? Aspectos relacionados con estas preguntas serán tratados en este artículo.

El tiempo como tema de un análisis científico es el tiempo que se puede medir. De este concepto tiempo es del que nos ocuparemos aquí, el relacionado con el concepto científico, no el tiempo psicológico, o el asociado con ideas filosóficas o teológicas.

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, sugirieron, en algunas sociedades primitivas, la idea del tiempo cíclico, la cual se vio reforzada con otros fenómenos o procesos.

Lo que actualmente es la celebración de la Navidad, tuvo sus orígenes en una festividad muy antigua relacionada con fenómenos astronómicos. El Sol, en su movimiento aparente hacia latitudes menores durante el período 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. Una observación de esta naturaleza debió haber causado pánico y 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 fue 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. Este es el verdadero origen de las celebraciones de diciembre, cuando se observaba que el Sol detenía su marcha hacia el sur y regresaba.

Debido a este tipo de fenómenos y a la observación de que la luna y los planetas tienen ciclos se llegó a la creencia de que todos los eventos deben ser cíclicos, dando origen a la idea de tiempo cíclico. Todavía en la época de los griegos el tiempo era considerado cíclico y se hablaba de los ciclos de la vida: la Tierra se cubría de hielo en invierno pero la vida volvía a resurgir en la primavera. Sin embargo, el tiempo aparentemente cíclico, no lo es en realidad, pues después de un ciclo se está en circunstancias diferentes y la vejez es la prueba de ello. Ya Heráclito, el filósofo griego que hablaba del cambio incesante y de que todo se transforma, hace más de 2,500 años indicaba lo cambiante y precedero de todas las cosas mediante la frase

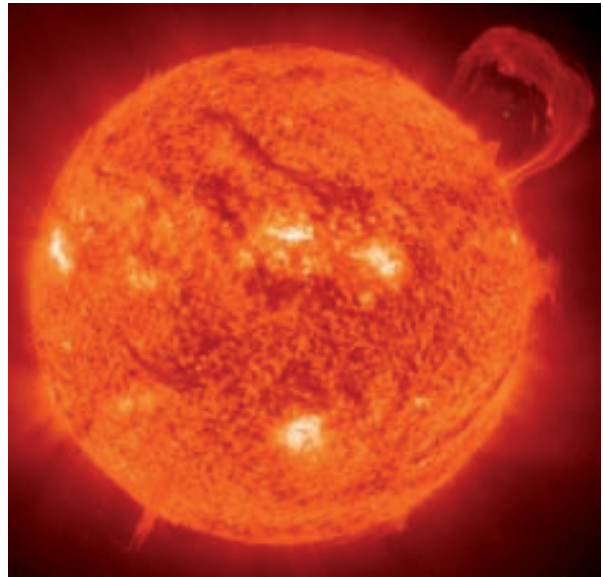


Imagen del Sol, principal fuente energética de la Tierra y base de la conceptualización primitiva del tiempo.

“nadie se baña dos veces en el mismo río” señalando con esto la renovación constante de las aguas y el paso continuo del tiempo.¹

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.

EL TIEMPO EN LA FÍSICA

Durante el desarrollo de las teorías físicas, el concepto tiempo ha sufrido modificaciones substanciales. La idea que tenía Newton del tiempo que fluye inmutable, independientemente de todo y que constituye uno de los supuestos básicos de la mecánica clásica o newtoniana, no se puede mantener más en la teoría de la relatividad desarrollada por Einstein. El concepto de tiempo absoluto, universal, de Newton no tiene cabida en las teorías relativistas.

El tiempo resulta ser, en la mecánica newtoniana una cantidad universal, igual para todos los observadores, mientras que en la teoría de la relatividad el tiempo es una variable física cuyo valor

depende del observador.² 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 verificaciones de este fenómeno se realizan diariamente en los laboratorios de partículas de alta energía de todo el mundo, confirmando las predicciones de la teoría de Einstein.

Por otro lado, con el advenimiento de la teoría general de la relatividad, se introdujo un nuevo ingrediente que afecta al tiempo. Se encontró que la influencia de la fuerza gravitacional sobre los cuerpos materiales produce efectos en el transcurso del tiempo. Recordemos que en la ciencia el tiempo es un concepto relacionado con fenómenos materiales.

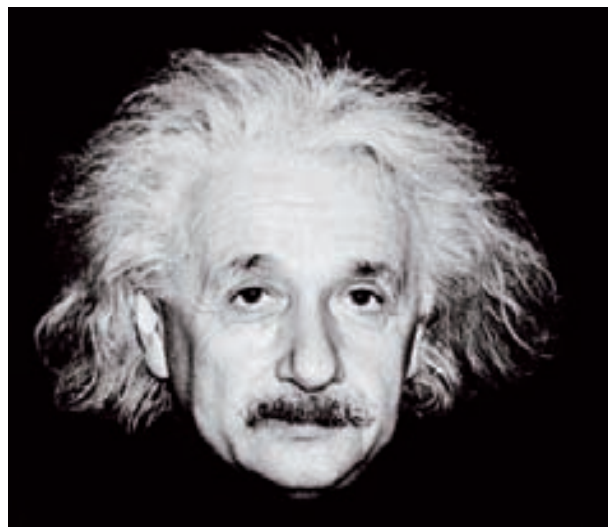
En la relatividad general el espacio se distorsiona con la presencia de materia y así mismo, el tiempo se deforma en presencia de ésta, ocurriendo lo que se conoce como curvatura del espacio-tiempo. En la física anterior a Einstein, el espacio no es más que el escenario donde ocurren los fenómenos físicos, sin que éste influya en ellos ni recíprocamente, y lo mismo ocurre 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”.³

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 H.G. Wells 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, totalmente fuera de nuestra experiencia cotidiana y también 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



Albert Einstein [1879-1955].

seres vivos complejos, como los mamíferos, donde la probabilidad de que muera un ejemplar viejo es mayor que 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 que la película se está mostrando en sentido inverso al que fue tomada. Pero sabemos que esto no sucede.

La evolución temporal de un sistema físico está determinada por las condiciones iniciales, las condiciones a la frontera y las leyes de la naturaleza. Si suponemos que estas leyes las conocemos y son las leyes de la física, no hay nada en ellas 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 este asunto de la unidireccionalidad del tiempo los científicos han introducido la idea de la flecha del tiempo.

El desarrollo de la termodinámica, con el estudio de los procesos irreversibles, permitió definir un procedimiento para distinguir el pasado del futuro. El procedimiento para establecer la flecha del tiempo se apoya en el concepto de entropía, el cual está fundamentado en fenómenos de naturaleza estadística. En el siguiente apartado se introducen cualitativamente las ideas asociadas con la entropía.

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 donde 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 fierro, las cosas se van desgastando, los niños crecen, etc. 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 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.⁴

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 dé 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 tan solo del 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, aún 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.

Por otra parte, la reversibilidad del tiempo es una propiedad de los fenómenos del micromundo, es decir a escala de los átomos, de los núcleos y de las partículas subatómicas. La flecha del tiempo queda determinada por la entropía, la cual se manifiesta como un fenómeno estadístico en procesos donde intervienen muchas partículas. En el estudio de los fenómenos a escala atómica, donde se manejan sistemas con pocas partículas, el fenómeno de la flecha del tiempo no se manifiesta.

LA FLECHA DEL TIEMPO

Aún cuando hay filósofos que niegan la existencia del tiempo, podemos admitir que el tiempo transcurre en una sola dirección. La flecha del tiempo, como el tiempo mismo, lo determinan los fenómenos de la naturaleza. En este sentido podemos admitir la existencia de cuatro fenómenos de la naturaleza a nivel macroscópico que definen una dirección del tiempo. El primero de ellos y que está directamente relacionado con la experiencia humana es el del aumento de entropía que se observa en todos los procesos de la naturaleza.

Un segundo fenómeno tiene que ver con los fenómenos ondulatorios. Una fuente puntual de ondas produce ondas circulares en un plano, como las ondas en el agua provocadas por un objeto que se lanza en un lago de agua tranquila. Se observa que las ondas viajan en círculos del centro hacia fuera, definiendo claramente la dirección del tiempo, es decir, cual es la fuente, y, en su caso, cual sería el receptor. No ocurre nunca que las ondas viajen en círculos que se hagan más pequeños y terminen en un punto, que correspondería a la fuente.



Proyecto Goldberg. Un ejemplo de la irreversibilidad del tiempo en humanos.

Un tercer fenómeno que define una flecha del tiempo es la expansión del universo. La observación de que el universo se está expandiendo nos indica una dirección única del tiempo. La observación de fenómenos donde el universo se contrae nos indicaría que se trata de una película que se está exhibiendo de reversa en el tiempo.

Una cuarta manera de definir una flecha del tiempo está determinada por nuestra conciencia. Este criterio queda definido por el hecho de que recordamos el pasado y desconocemos el futuro.

Los cuatro criterios anteriores nos permiten distinguir el pasado del presente. Si pasamos una película al revés, cualquiera de los tres primeros fenómenos nos permitiría identificar que la película se proyecta en sentido opuesto a como fue filmada. Este es precisamente el concepto de flecha del tiempo; el hecho de que se pueda distinguir cuando una película que observamos sigue la secuencia natural en que fue filmada. La flecha del tiempo es el criterio que nos permite identificar cuándo algo no está ocurriendo en la dirección temporal “correcta”, es decir hacia el futuro, pudiendo distinguir cuándo una película se proyecta al revés.

EL TIEMPO EN UN AGUJERO NEGRO

De acuerdo con las ecuaciones de Einstein de la teoría general de la relatividad, que son las que describen el comportamiento de la gravedad y los objetos astronómicos muy masivos, alrededor de un agujero negro existe una superficie esférica, conocido como el horizonte de eventos. Esta superficie sólo puede ser cruzada en la dirección hacia el agujero negro, un objeto que se acerque a ella será absorbido irremediablemente y no podrá regresar nunca más de esa región. Ni siquiera la luz puede escapar de un agujero negro.

Uno de los resultados de la teoría general de la relatividad establece que en un intenso campo gravitacional los relojes marchan más lentamente que en un campo menos intenso. Por ejemplo, si nos encontramos cerca de una estrella, el tiempo transcurre más despacio que si estamos lejos de ella. Consideremos como ejemplo, una nave cercana a una estrella que emite pulsos de radiación espaciados un segundo. Un observador alejado de la estrella que detecte estos pulsos puede encontrar que el

intervalo entre cada pulso puede ser de horas, o días o años, dependiendo de la diferencia de intensidad del campo gravitacional entre el punto emisor y el receptor de los pulsos. Si el objeto emisor está cruzando el horizonte de eventos de un hoyo negro, entonces instantes antes de cruzarlo, el intervalo de tiempo puede ser de miles de millones de años para el observador alejado del hoyo negro, y en el momento de cruzar el horizonte de eventos, los pulsos ya no pueden salir. El observador fuera del horizonte ya no recibe ningún pulso. Esto equivale a que el intervalo entre dos pulsos, el que se emite antes de cruzar el horizonte y el sucesivo, emitido después de cruzarlo, se hace infinito. Para el observador externo la nave nunca cruza el horizonte, los tripulantes no se darán cuenta de que ninguna señal que emitan al exterior saldrá del espacio limitado por el horizonte de eventos. Para el observador exterior el tiempo de la nave se detiene. A algunos científicos les gusta decir que el tiempo desaparece en la nave para los observadores que están fuera del horizonte. Esto tiene tintes de ciencia ficción, sin embargo, la relatividad del tiempo debido a la presencia de campos gravitacionales es un hecho comprobado en un efecto conocido como corrimiento gravitacional hacia el rojo.⁵

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 Goedel, un matemático austriaco, 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, Goedel 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



Kurt Goedel y Albert Einstein.

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 solo en un universo en rotación, ya que esta es la condición que debe cumplirse para llegar a las soluciones obtenidas por Goedel. Como el universo que observamos no parece estar rotando, esta solución no sería aplicable a nuestro universo.⁶

Después de la conferencia Einstein declaró que este tipo de soluciones, aún 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. Sin embargo, la teoría general de la relatividad no excluye la posibilidad de los viajes en el tiempo.

LA FRAGMENTACIÓN DEL TIEMPO

Los conceptos fundamentales del mundo físico, espacio, materia y tiempo requieren unidades para determinarlos y así surge en la física las unidades fundamentales: metro, kilogramo y segundo. Por otra parte, se pueden construir un sistema de unidades

“naturales” usando tres constantes fundamentales de la naturaleza. Estas constantes son: La constante de la gravitación universal G , la constante de Planck \hbar y la velocidad de la luz c . Estas constantes están asociadas con las teorías fundamentales de la física: la teoría de la gravitación, la mecánica cuántica y la teoría especial de la relatividad, respectivamente. Puesto que estas constantes incluyen a G y a \hbar , la gravitación y la teoría cuántica, estas unidades llamadas unidades de Planck, juegan un papel importante en la teoría cuántica de la gravedad, una de las fronteras actuales de la física teórica.

La escala en la cual se espera que los efectos cuánticos de la gravedad sean importantes se obtiene a partir de las constantes fundamentales mencionadas. Estas constantes universales pueden combinarse en base al análisis dimensional para obtener unidades de longitud y tiempo. El tiempo así obtenido es el tiempo de Planck.⁷ Si la hipótesis cuántica de la gravedad es correcta, en el tiempo de Planck, el tiempo y el espacio estarían cuantizados, lo que significa que el tiempo no es continuo a esas escalas.

Max Planck, hizo notar el hecho de que estas constantes fundamentales de la naturaleza deben estar relacionadas con propiedades importantes del mundo físico.⁸

Así como existe una teoría de los cuantos, donde las energías y otras cantidades físicas se presentan en cantidades discretas llamadas cuantos, en la gravedad cuántica el tiempo y el espacio se presentan también cuantizados o granulados. El intervalo mínimo de tiempo sería el tiempo de Planck cuyo valor es $5.39 \times 10^{-44} s$.⁹

La posibilidad de que el tiempo no sea continuo, como no lo es la materia, estando ésta formada por partículas surge de analogías entre las teorías que



Moneda con imagen de Max Planck.

describen a la naturaleza. 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, esta última descrita por las ecuaciones de la relatividad general de Einstein, 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.

Si el tiempo fuera discreto, es decir, granulado como la materia, nosotros no lo percibiríamos, pues consistiría en “pedacitos” de tiempo del orden del tiempo de Planck, 10^{-44} segundos. Esta cantidad tan pequeña de tiempo es imposible percibirla. Las imágenes del mundo que observamos aparecen como una sucesión continua, no como fotos fijas que cambian en saltos. Pero tampoco percibimos los saltos de una imagen a otra cuando observamos una película y sabemos que la película es efectivamente una sucesión de fotos fijas que se pasan a intervalos de $1/24$ de segundo cada una. La película la vemos como si fuera algo continuo.

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 solo 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 solo cambios o sucesos, siendo estos 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, usamos 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, de máximo desorden. En estas circunstancias se habrá perdido toda información y ya no se producirán cambios de ningún tipo. En este estado, el tiempo habrá terminado, habrá llegado la muerte del tiempo.

El tiempo, el espacio y la materia aparecen ligados de manera inseparable en la teoría de la relatividad general. Así como no existe el movimiento absoluto, solo el movimiento respecto a un marco de referencia, tampoco existe el tiempo absoluto en el sentido de independencia de la materia. El tiempo tiene sentido

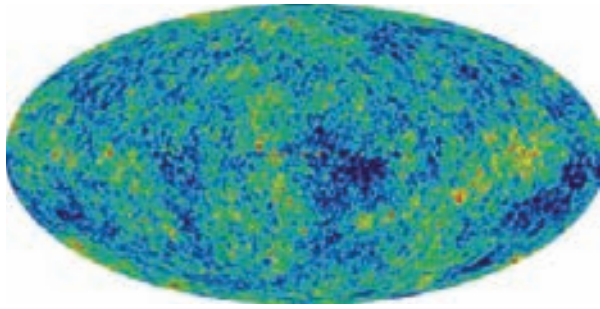


Imagen que representa la radiación cósmica de fondo del universo. El descubrimiento de esta radiación consolidó el modelo del Big Bang.

solo en relación con cambios en los sistemas físicos, compuestos de partículas materiales, si la materia no sufre cambios, entonces el tiempo carece de sentido.

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 “El Gran Colapso”. A este gran colapso le seguirá una nueva “Gran Explosión” (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 en 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 desaparece, 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.

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. En este sentido hablaríamos de un tiempo cíclico, muriendo y renaciendo, o, en el caso de un universo abierto, del tiempo unidireccional transcurriendo hacia su muerte eterna.

REFERENCIAS

1. La Enciclopedia, Salvat Editores, 2004.
2. Three roads to Quantum Gravity, Lee Smolin, Perseus Book Group, 2001.
3. Space-Time-Matter, Hermann Weyl, Dover, 1952.
4. Thermal Physics, Charles Kittel and Herbert Kroemer, W. H. Freeman and Company, 1997.
5. El Espacio y el Tiempo en el Universo Contemporáneo, P. Davis, Breviarios; Fondo de Cultura Económica, 1996.
6. About Time, Paul Davis, Simon and Shuster, 1995.
7. The New Physics, Paul Davis, Cambridge University Press, 1990.
8. The End of Time, Julian Barbour, Oxford University Press, 2000.
9. The Ideas of Particle Physics, C. D. Coughlan and J. E. Dodd, Cambridge University Press, 1991.