En torno al tiempo

Abigail Rojas G., Américo Peraza A., Arturo Chávez Ch.

RESUMEN

Se va de la física clasificativa hacia la descriptiva en busca del tiempo físico, donde se encuentran serios cuestionamientos acerca de su existencia como ente natural en la teoría de la relatividad, el micromundo (mundo cuántico) y el macromundo (mundo cosmológico).

INTRODUCCIÓN

Quizá para la mayoría de nosotros el tiempo tiene una asimetría: siempre transcurre del pasado al futuro y es irreversible, es la metáfora del "fluir del tiempo". Pero ¿qué es lo que fluye?, ¿con respecto a qué fluye?

El concepto tiempo ha sido uno de los más controversiales en la historia y actualidad de los seres humanos, y como tal su estudio se ha visto acelerado, frenado o, en algunos casos, destruido por completo. Por ser su desarrollo igual al de otros conceptos físicos, el tiempo sigue siendo el mismo, sin embargo, nuestra comprensión acerca de él ha cambiado constantemente y aún no nos sentimos satisfechos. El título de este ensayo responde a la incapacidad de plasmar una definición única y concreta sobre el concepto tiempo. Richard Feynman,[1] en sus clases de dinámica o estudio del movimiento de partículas y cuerpos rígidos, ante esta imposibilidad de definirlo, solía decir: "El tiempo es lo que pasa cuando no pasa nada".

Para hacer las primeras observaciones, ligadas de alguna forma a nuestra percepción actual del tiempo, pasarían millones de años. Para plantear

[1] Premio Nobel de Física en 1965.

teorías más completas y llegar a algunas conclusiones ha bastado menos de un milenio, dándose los mayores adelantos en los últimos cien años. En la primera parte de este ensayo expondremos de manera breve algunos conceptos de tiempo, o ¿acaso será uno solo el que ha evolucionado a través del desarrollo de la ciencia?

En la segunda parte veremos que, desde tiempos remotos, diferentes especies biológicas han tenido que observar cierta relación entre eventos[2] para garantizar su supervivencia; entre éstas se distingue la de nuestros predecesores, al tener que ir más allá de la relación y comparación para cubrir sus necesidades, hasta llegar a desarrollar conceptos como cambio, duración y orden de eventos, y valerse únicamente del lenguaje ordinario enriquecido con ciertos términos técnicos y numéricos.

En la tercera parte veremos cómo al darse la fusión del lenguaje hasta el momento utilizado y el lenguaje matemático se logró dar mayor firmeza y concreción a los fenómenos de cambio y orden de eventos, siendo aquí donde realmente se puede hablar de la ciencia física, y con ello del concepto de tiempo en física. Sin embargo, esto no garantizó, como se demuestra en todas las ramas de la física, el entendimiento completo de la naturaleza, ya que si el ser humano amplió el lenguaje para describirla, también extendió el campo observacional y teórico, que, como podremos ver, más que dotarnos de una seguridad con respecto al concepto físico de tiempo, nos pone a pensar acerca de la existencia de éste como un ente físico.

Por último, haremos algunas conclusiones para cubrir parte de lo que se puede señalar en torno al tiempo físico.

SURGIMIENTO DEL TIEMPO

El desarrollo de la capacidad de observar de nuestros antecesores, sobre todo la regularidad en la aparición de los animales y plantas, así como su asociación con otros fenómenos naturales: la salida y puesta del sol, los cambios estacionales, la lluvia, el calor, la sequía, etcétera, y la acumulación de este tipo de experiencias durante millones de años, generan registros de acuerdo con los cuales sucedían los eventos más importantes para un grupo dado, en el que debieron existir individuos sobre quienes recayó de manera gradual la responsabilidad de memorizar los datos ya conocidos y la incorporación de

[2] Para fines de este escrito se entiende como evento un suceso o hecho natural que ocurre.

nuevos acontecimientos, lo que les confería mucho poder, pues con base en sus conocimientos podían predecir acertadamente una serie de eventos, lo cual no podía hacer un individuo promedio del grupo. Sin duda, estos "brujos" debieron observar distintos fenómenos que sucedían a la vez, pero sin estar relacionados de forma directa. Si un evento A (arribo o retirada de manadas de mamutes) coincidía con uno B (cierta posición del Sol), es probable que con la acumulación de experiencia concluyesen que el evento B era un evento periódico, en el sentido de que no dependía de las condiciones climáticas y que siempre sucedía, mientras que el A podría tener ciertos retrasos respecto al B, debido digamos a la presencia de un nuevo río, nuevas grietas en la corteza terrestre, o nuevas actividades volcánicas. Así, la observación de fenómenos periódicos, como los relacionados con el planeta Venus, con las estrellas más brillantes, la oscuridad y la claridad, entre otros, otorgó al humano la posibilidad de contar con un patrón de referencia con el cual vincular todos los demás eventos.

El observar, relacionar y asociar los eventos cotidianos con los fenómenos periódicos mencionados fue, sin duda, un gran paso en la evolución del intelecto humano, y ello significó que —considerando como tiempo el número de periodos (o partes de periodos) de alguno de los fenómenos indicados, durante los cuales se verificaba otro— éste no puede reflejar otra cosa que la ocurrencia y duración de un proceso. Además, establece que el tiempo es un concepto que el humano utiliza para designar la duración de los fenómenos, y entrever el carácter fundamental, básico, primario, de la de algunos procesos.

En el siglo VI a.C. en Europa, el norte de Africa y el Medio Oriente se manejaron un conjunto de ideas (fuera de las élites sacerdotales) que planteaban en cierta forma la síntesis hasta ese momento del pensamiento humano, y que influenciarían durante siglos, nótese ya no milenios, el desarrollo de la ciencia. Entre ellas predominaba la creencia de no necesitar fragmentos de conocimientos acerca de rincones aislados de universo, sino una equilibrada y comprensiva visión del todo, con una actitud contemplativa frente a la vida, lo que resultaba en muchos casos una aversión contra el aumento de conocimiento mediante la experimentación.[3] Se distinguieron con cierta claridad los siguientes grupos:

a) Los que se concentraban en la materia y trataban de descubrir su naturaleza afirmando que el material base de aquélla era una sustan-

[3] James Jeans, *Historia de la física hasta mediados del siglo XX*, México, FCE, 1982 (Breviarios).

cia eterna, atemporal, que podía cambiar y convertirse en las formas materiales que comúnmente percibimos, de acuerdo con las leyes de la justicia (equilibrio y proporción). De lo anterior se destaca la idea de tiempo en tres vertientes: dos que van implícitas en los conceptos *cambio* y *orden*, y otra como *eternidad*, esto es, un recipiente atemporal infinito donde se dan estos cambios, respetando siempre un orden.

b) Los que se concentraban en el movimiento y trataban de descubrir su significado planteando la existencia de una separación entre lo material, afectado irremediablemente por el tiempo, y lo no material, que además de gobernar la materia viva, tiene el don de ser infinito y no afectado por las leyes de la justicia.

c) Los estudiosos de la geometría y matemáticas puras, que definen el tiempo como el número de ciertos movimientos y, en su sentido más amplio, el intervalo del orden natural del universo; el espacio para ellos era una reunión de puntos, con tamaño finito y con dimensiones. Creían que todos los objetos estaban compuestos de ciertos números de puntos colocados en un orden determinado.

d) Los que sustentados en la observación de la naturaleza, en los movimientos que ocurrían en los cielos, en la sucesión de estaciones, etcétera, afirmaban la idea de un tiempo que circulaba, lo que fue interpretado como una historia que eternamente retornaba, un tiempo a cuyo paso las cosas se reproducían una y otra vez en una danza eterna.

En los casos anteriores se observa el uso de conceptos como periódico, regular, cíclico, duración, cambio, orden, sucesión y eternidad, que integran con este último el carácter de lo divino. El espacio y el tiempo juegan el papel principal en el nivel empírico del conocimiento de la física, con una excelente habilidad de abstracción; sin embargo, es visible que la idea de tiempo como tal no fue refinada ni desarrollada en la misma medida que la de espacio, considerado éste como un fenómeno objetivo característico de la apariencia del mundo externo.

Hasta aquí, con base en hechos cualitativos, podríamos establecer que la duración de los procesos naturales es un atributo de la materia, la cual se nos presenta de muchas formas, sucediéndose unas a otras; para ello se requieren innumerables procesos en su estructura, cada uno con su propia duración.

EL CONCEPTO TIEMPO EN LA CIENCIA FÍSICA

La antigua ciencia consistía solamente en la paciente acumulación y clasificación de hechos. La física, desde el punto de vista descriptivo, se inició junto con el método experimental, el cual reproduce, compara, describe y corrobora los fenómenos naturales estudiados. Los eventos observados son considerados absolutos e independientes del observador. En este método, al contrario de lo acaecido anteriormente, el concepto tiempo tiene gran importancia, al igual que el de espacio, y son elevados ambos a categorías que representan las formas principales de existencia de la materia. Asimismo, se realizó un esfuerzo en utilizar los métodos geométricos, ya desarrollados, para describir los problemas que implicaban el paso del tiempo, medible mediante un punto que se mueve en línea recta. Se creía que también Dios percibía la naturaleza en forma matemática. A partir de este punto de innovación metodológica surgen dos líneas fundamentales, las cuales expresan e incrementan las observaciones anteriores sobre el espacio y el tiempo, incluyendo para esto el lenguaje matemático.

La primera de ellas es la que se concreta con los trabajos de Isaac Newton, quien desarrolla conceptual y matemáticamente las leyes de la física conocida en la actualidad como física clásica,[4] y sostiene que todas las cosas están colocadas en el tiempo en orden de sucesión, y en el espacio en orden de situación. Los puntos del espacio están unos al lado de otros; los instantes de tiempo se siguen unos a otros. Así, el tiempo se concibe como "absoluto, verdadero y matemático", el cual es en sí mismo y de su propia naturaleza, que fluye uniformemente; esto es, matemáticamente continuo, a todo intervalo le corresponde una relación de sucesión, siendo anterior aquél y posterior éste. El tiempo es independiente de su contenido físico, sin relación con nada externo, infinito, lo que implica ausencia de inicio en el pasado o de final en el futuro y es llamado comúnmente duración. Este tiempo se adoptó para el estudio de la ciencia, por ejemplo: en las ecuaciones del movimiento (dinámica) se encuentra presente el "tiempo absoluto", en consecuencia la formulación matemática de los procesos naturales en sí misma es atemporal. En las ecuaciones el tiempo conceptual idealizado es la conexión entre el mundo de nuestros sentidos y la idea de eternidad de los grupos de pensadores de los incisos b y c de la sección anterior, pero hay que tomar en cuenta

[4] I. Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural y su sistema del mundo*, Madrid, Editorial Nacional, 1982.

que una ecuación significa un hecho natural sólo si se da una explicación de qué representan las cantidades o literales con nuestra experiencia.

Newton considera también el "tiempo relativo y aparente", usado comúnmente en lugar del tiempo verdadero, este último estimación práctica e inexacta de la duración. Este tiempo es el que construye la sucesión de eventos para nosotros, y el flujo de eventos dentro y fuera de nosotros corresponde a la metáfora del "fluir del tiempo". De acuerdo con esta teoría, el tiempo fluye, independientemente de los cambios o no, ya que éstos están en el tiempo, no son el tiempo en sí. Esta distinción entre tiempo y transformación se halla en los cimientos de la física clásica. Igual que el espacio no implica materia, el tiempo no implica movimiento ni cambio.

La historia del universo físico puede ser simbolizada como una serie matemática continua de eventos instantáneos, en donde cada uno es representado con una configuración instantánea de un número fantásticamente grande de entidades simultáneas con posición y velocidad definidas con claridad; cada configuración se ve implicada por otra anterior, mientras que a su vez encierra una futura, lo que sugiere la simultaneidad absoluta, incluso de los sucesos más distantes, y adquiere, mediante el concepto de causalidad, el carácter de teoría determinista.

La segunda línea de desarrollo de la física, cuyas raíces están en los razonamientos de los grupos de pensadores del inciso a, comentados en la sección anterior, e impulsada por G. W. Leibnitz, busca un método universal por el cual se podría obtener el conocimiento, hacer invenciones y entender la unidad esencial del universo. Esta dirección de pensamiento trabaja al igual que los fundadores de la física clásica con símbolos matemáticos, y con una herramienta matemática nueva que fue necesario desarrollar: el cálculo diferencial. Este último es utilizado como lenguaje universal de cambio y movimiento, y establece con el concepto matemático de derivada (razón de cambio) los conceptos físicos de velocidad y aceleración instantánea, dando vida a lo que más tarde se convertiría en otra herramienta matemática de apoyo a la física, el análisis vectorial, con la característica de las ecuaciones vectoriales que implican ahora una dirección y que contienen espacio y tiempo; son independientes del sistema coordenado que se utilice para definir puntos en el espacio. Con este tipo de instrumento y razonamientos, se llegó a la conclusión de que el espacio y el tiempo no son cosas en sí mismas, sino maneras o métodos de ordenar objetos y acontecimientos, rechazando la idea de que el espacio y el tiempo existen por sí y por propio derecho.

Esta teoría pasó inadvertida por más de doscientos años, hasta que le fue enlazada la idea de "observador",[5] con lo cual se logró reconocer su sentido físico. Es distinta en su apreciación filosófica y matemática, al notar que la forma como se ve el mundo en una época determinada está en relación directa con la situación del observador, y que no existe correlación única entre la sucesión de instantes en nuestra conciencia y la de los acontecimientos de que somos testigos en el mundo exterior: el orden aparente de los acontecimientos depende de quien los observa, en contradicción con lo expresado por la física clásica. Esta idea de la relatividad de hechos se comprobó cuando se pudo medir la velocidad de la luz y se descubrió que tardaba aproximadamente diez minutos en llegar del Sol a la Tierra, al mismo tiempo que se aceptó la incapacidad para conocer en realidad eventos simultáneos entre el Sol y la Tierra. Esta teoría fue desarrollada a principios del siglo XX, y llevó a la conclusión de que las leyes de la física han de ser independientes del sistema de coordenadas que se utilice en su formulación matemática.

La teoría conocida actualmente como física clásica fue la que prevaleció y constituyó la ciencia física, la cual se consideraba completa en el sentido de que describía de forma aceptable el comportamiento de la naturaleza. Sin embargo, al principio de este siglo aparecen nuevas teorías y experimentos, que extendieron el campo de observación y sustentaron la necesidad de replantear, ampliar o corregir de nuevo esta ciencia.[6] Por lo tanto, han resurgido algunas preguntas que resultan interesantes.

¿TRANSCURRE EL TIEMPO IGUAL PARA TODOS?

Considerando exclusivamente la posibilidad analítica de las matemáticas y de la física, no es difícil concluir que ambas logran en conjunto la descripción de las propiedades de la materia mediante un sistema de mediciones, tanto de la posición de los objetos (sistema de coordenadas)

[5] Ser calificado, capaz de interpretar hechos o fenómenos naturales mediante una metodología.

[6] Einstein en sus notas autobiográficas "philosoper-scientist", citado en *Conceptos de relatividad y teoría cuántica*, de Robert Resnick, escribió al respecto: "¡Basta, Newton, perdóname!; tú encontraste el único camino que en tu época fuera jamás posible a un hombre de la más alta inteligencia y poder creativo. Los conceptos que tú creaste sirven hoy para guiar el pensamiento en física, aunque ahora sabemos que tendrán que reemplazarse por otros que están mucho más apartados de la experiencia inmediata, si queremos entender más a fondo las relaciones".

como de los diversos momentos de tiempo (relojes), y si seleccionamos un cuerpo u objeto de referencia a fin de ser utilizado de manera comparativa como patrón de medición, se tendrá entonces lo que en física es denominado "sistemas de referencia", construidos con el fin de describir lo más completamente posible el comportamiento de la materia como un *todo* y los fenómenos que ocurren en las entrañas de este *todo*. Aún así, por más acertada que sea la elección de uno, éste siempre estará acotado por las regiones consideradas de la materia y, por ende, su validez será sólo local. No obstante, esta limitación se ve compensada por la destreza alcanzada en la elección de los sistemas de referencia más adecuados al problema tratado y en el desarrollo de diferentes procedimientos matemáticos para la construcción de aquéllos.

Supongamos, con base en nuestra experiencia, que el registro del tiempo con relojes de un solo tipo en distintos lugares puede ser el mismo, ello no contradice el sentido común de los humanos y va acorde con la lógica en la sucesión continua de eventos, elemento fundamental que cohesiona e integra en un orden determinado nuestra visión del mundo. Sin embargo, al analizar de manera crítica esta afirmación aparentemente lógica, nos damos cuenta que su cumplimiento impone una serie de restricciones acerca de las propiedades del *todo:* la suposición *a priori* sobre la equivalencia del tiempo en esos lugares indica que las propiedades del *todo* no varían y son siempre las mismas sin importar en qué parte nos encontremos.

En contraposición, en distintos centros de investigación se llevan a cabo experimentos cuyos resultados contradicen la suposición de un *todo* homogéneo. Como ejemplo pueden citarse los estudios que se hacen en las plataformas espaciales sobre los efectos de la ingravidez en el crecimiento y desarrollo de plantas y animales, en la producción de elementos de dispositivos electrónicos, de cristales con características especiales, etcétera. Vemos así que las propiedades del *todo* no son las mismas en cada lugar.

En 1960 se demostró que el tiempo de un reloj en la azotea de un edificio de 22 pisos transcurre una diezmilésima de millonésima de segundo por cada hora más rápido que el de un reloj en la planta baja, lo que muestra que la marcha de los relojes se ve afectada por las condiciones locales imperantes en el lugar donde se realizaron las mediciones.[7]

Lo anterior se explica en uno de los postulados de la teoría especial de la relatividad (TER): la rapidez o distancia que recorre la luz en un intervalo de tiempo es una constante universal que tiene un mismo valor, inde-

[7] Shahen Hacyan, *Ciencias*, núm. 35, julio-septiembre, 1994.

pendientemente del movimiento relativo del observador y de la fuente, lo que trae consigo una profunda consecuencia en el espacio y el tiempo. Veamos como ocurre esto, ya que la rapidez de la luz se puede expresar como: c=(espacio/tiempo) = 300 000 km/seg.

Esta ecuación muestra que para cualquier observador se unifica el espacio y el tiempo, ya que éste siempre mide un mismo valor. Por ende, si cualquier observador siempre mide una misma rapidez para la luz, los únicos conceptos que pueden variar, de acuerdo con la igualdad escrita, es el espacio y el tiempo. En esta forma, un mismo evento visto o medido por dos personas en movimiento relativo tendrá un tiempo distinto, y no sólo eso, el espacio también presentará diferencias, sin un tiempo y espacio universal, de hecho, ambos afirmarán con pruebas suficientes que la ocurrencia del evento fue en cierto tiempo y espacio, los cuales no serán iguales para ambos. Infiriendo que las propiedades del *todo* no son las mismas, y en general están sometidas a diversas condiciones en cada lugar o región, en realidad nuestra afirmación inicial tiene por lo visto sólo validez local para pequeñas regiones no muy alejadas unas de otras, y es un tanto erróneo tratar de generalizar considerando que las mismas condiciones o propiedades se encuentran distribuidas de manera homogénea en el *todo* y que prevalecen así indefinidamente. En resumidas cuentas, si la lectura de los relojes (tiempo transcurrido) depende de la trayectoria seguida y del lugar (espacio), puede afirmarse que el espacio y el tiempo son propiedades o atributos del *todo*, denominado "materia", y que el cambio de la marcha de los relojes indica la profunda relación entre estos conceptos. Por lo visto sería más correcto indicar estos atributos de la materia[8] no por separado, sino como un ente único: el *espacio-tiempo*, atributo y forma de existencia de la materia. Al tratarlos de manera independiente uno del otro, se estará considerando sólo una parte de la conducta de la materia, como sucede en la física clásica. Un análisis más completo y acorde con las necesidades actuales señala la enorme importancia de concebir el espacio y el tiempo como dos características principales de un atributo de la materia denominado en general espacio-tiempo.

Los efectos de medir tiempos diferentes por observadores en dos marcos de referencia inerciales distintos (ambos en reposo o rapidez constante), es una consecuencia de un principio que conforma la esencia de la TER: "La simultaneidad de eventos espacialmente separados es relativa". Esto significa que aun cuando dos procesos posean la misma duración en un cierto sistema

[8] Lee Coe, *American Journal Physics*, 37-38, 1969, p. 810.

inercial de referencia, si se encuentran separados espacialmente, su duración no será igual una de otra en cualquier otro sistema.

Si bien la TER significó un gran paso en el desarrollo de los conceptos de tiempo y espacio, sus alcances están limitados, porque en esta teoría son considerados los efectos espacio-temporales que surgen a raíz de la dinámica de los objetos. Esta es una relación muy particular, es sólo una parte de una más general y biunívoca entre el estado de un cuerpo y las propiedades del espacio-tiempo, lo que conforma el objeto de estudio de la teoría general de la relatividad (TGR).

De acuerdo con la TGR, todas las formas conocidas de la materia afectan la geometría del espacio-tiempo y viceversa; esto es percibido por nosotros en forma de campo gravitacional. Para su descripción, se dice que existen los potenciales gravitacionales, que caracterizan el campo gravitacional a diferentes distancias de su fuente, todo establecido en términos de las denominadas "ecuaciones de Einstein para el campo gravitacional", en las que se considera la relación de igualdad entre las propiedades geométricas del espacio-tiempo, y se introduce el término Λ llamado "cosmológico"[9] y las propiedades físicas de la materia-fuente que origina el campo.

Con base en esta teoría, la marcha de los relojes cambia conforme lo hace el potencial gravitacional.

PERCEPCIÓN Y MICROMUNDO: ¿CONCILIACIÓN?

Cuando un objeto se encuentra a una temperatura mayor que el medio que lo rodea, emite energía en forma de radiación, la cual no requiere un medio material para transmitirse, sino que lo hace en forma de onda.[10] A finales del siglo XIX, se trataba de explicar la radiación que emite un cuerpo negro[11] al ser calentado. Para ello, en 1900, Max Planck introdujo la idea (a partir de resultados experimentales) de que la energía sólo puede ser absorbida o emitida por la materia en unidades discretas o paquetes de energía llamadas "cuanto". Un cuanto de energía es proporcional a la frecuencia de la radiación que se emite o absorbe y su constante de proporcionalidad es h, conocida

[9] En virtud de su proporcionalidad como constante cosmológica, éste fue introducido por Einstein con el fin de describir un universo estacionario.

[10] Una onda es un modo de transferencia de energía sin que haya intercambio de masa.

[11] Objeto hueco al cual se le hace un agujero pequeño que comunique el interior con el exterior, de tal manera que toda la radiación que incide en este agujero ya no sale, se absorbe.

como constante de Planck, cuyo valor es $h = 6.63x10^{-34}$ joule-segundo.[12] Esto da una idea de que los procesos cuánticos se refieren al mundo de lo muy pequeño, y al estudio de la dinámica de estos procesos se le llama física cuántica (FC). El mundo cuántico nos muestra en el mundo macroscópico una naturaleza de carácter dual, en donde sus componentes pueden ser ondas o partículas, la luz está compuesta de paquetes de energía llamados fotones (partículas), pero también posee un carácter ondulatorio. Esta dualidad onda-corpúsculo fue propuesta para la materia; se considera que las partículas materiales tienen también un carácter ondulatorio, hecho comprobado con la difracción de electrones. A los componentes del mundo cuántico realmente no se les puede asociar un carácter de partícula o uno de onda, poseen ambos y aún no se les ha dado un nombre específico. Estos entes no tienen trayectorias ni velocidades determinadas.

Para establecer un modelo teórico en FC, las partículas son consideradas en cierto "estado cuántico" representado por una expresión matemática llamada "función de onda", la cual describe la partícula como si ésta estuviera dispersa en una región del espacio. De ahí que el carácter probabilístico de la función de onda sólo nos indica las posibilidades de existencia de la partícula en cierta región. Dicho de otra forma, el micromundo se nos muestra como superposición de probabilidades, en la que al realizar cualquier tipo de medida nos enseña solamente una cara de la moneda, la partícula es detectada o no. Si es detectada se dice que la función de onda se colapsa y nosotros observamos una partícula. De esta manera, por alguna razón, nuestra percepción no nos permite percibir la superposición macroscópica de los estados cuánticos, y únicamente nos ofrece las alternativas de la partícula "si está" o no, al igual que la dualidad corpuscular ondulatoria de la luz. De nuevo, la naturaleza cuántica tiene dos caras, y sólo puede presentarnos una de ellas a la vez.

En nuestro mundo macroscópico nos parece que el tiempo "fluye". Vemos que los eventos obedecen a cierta dirección dada por la segunda ley de la termodinámica, esto es, *grosso modo*, que un sistema siempre tiende al desorden y nunca el caso contrario. Se asocian eventos con fechas, el pasado, que puede ser reconocido y parcialmente recordado, contiene eventos que ocurrieron; el futuro es desconocido, tiene eventos que todavía no existen. Donde el pasado y el futuro se unen tenemos el presente, una cosa misteriosa

[12] $6.63X10^{-34}$ joule-segundo=0.000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 663 joule-segundo (unidad de energía por unidad de tiempo).

sin duración aparente en nuestro momento. Nuestra visión de realidad está fuertemente ligada a una estructura de tiempo en pasado, presente y futuro, obedece a una organización de ideas y no a una simple relación de fechas. La indeterminación cuántica mencionada arriba no parece ofrecer una explicación objetiva del "flujo" del tiempo, o de la división del tiempo en pasado, presente y futuro. El colapso de la función de onda al detectar una partícula cuántica nos muestra el presente de esa partícula, pero es un proceso irreversible. De acuerdo con esto, el presente es un fenómeno real, pero representa nuestro momento de cuando el mundo cambia, y entonces el futuro es indeterminado, e incluso podría ser modificado por nuestra intervención. En los experimentos de laboratorio se consideran la preparación, análisis y ensayo, de tal forma que se impone una asimetría pasado-futuro en la interpretación de los resultados. Pero si la prueba es hecha al revés, si en lugar de preparar un "estado cuántico" y hacer medidas, tomamos los resultados y se infieren los estados iniciales, entonces el pasado es indeterminado y no el futuro. Vemos pues que desde el punto de vista cuántico no podemos saber el pasado ni el futuro, éstos no son cualidades intrínsecas de los eventos, y aun nuestra posibilidad de conocer el presente se ve restringida por el principio de incertidumbre de Heisenberg, la propiedad que tiene el mundo cuántico, en el cual es imposible determinar posición y velocidad de manera simultánea en el estado de un ente cuántico.

La simultaneidad de eventos espacialmente separados es relativa, como lo muestra la teoría de la relatividad; en este sentido no se puede decir que sólo el presente es real, porque a ¿cuál presente nos referimos?, ¿al de cuál observador? Porque dos personas en movimiento relativo reportarán fechas diferentes para un mismo evento y la discrepancia podría ser de miles de años, y cada uno de ellos está describiendo su realidad en ese momento. En este sentido, no hay un presente ni una realidad universal. ¿Cómo un mismo evento puede ser pasado, presente y futuro a la vez? Es evidente que éstos no son cualidades intrínsecas de los eventos. El parecer que el tiempo "fluye" no contribuye al entendimiento de nuestro mundo objetivo.

Las dos teorías, la relativista y la cuántica, sostienen el hecho de que no tiene sentido presentar el tiempo como un "flujo de tiempo", este "fluir" no es cualidad intrínseca de los eventos. Supongamos que no podemos recordar nada, que nuestra información se reduce a una colección de sensaciones momentáneas. Esta información sería incoherente, sin significado; los eventos que ocurren parecerían un caos, el planear acciones sería imposible. Así pues, la memoria es indispensable para la percepción de los procesos temporales, aunque no se puede explicar el aparente "flujo del tiempo" en términos

de la misma. La mente humana es capaz de asimilar procesos de miles de millones de años como la evolución de todo el universo, y dar cuenta de él en media hora; al igual que en este mismo tiempo pueden ser explicados procesos del orden de 10^{-20} segundos,[13] como lo es el tiempo de vida promedio de la partícula subatómica llamada mesón *psi*.

¿EXISTE EL INICIO DEL TIEMPO?

Al tratar de contestar esta pregunta lo que nos interesa son grandes escalas espaciales, al igual que largos periodos evolutivos del universo, entonces debemos entrar al terreno de la cosmología.

Se trata de describir las leyes evolutivas del universo como un todo; debido a las limitaciones de los sistemas de referencia no puede elegirse uno que sea único, general y absoluto, válido para todo el conglomerado. Por esta razón, los modelos matemáticos correspondientes deberán contener algunos parámetros o funciones que consideren las características físicas del prototipo de universo de interés para el investigador. Partiendo de la teoría einsteniana del campo gravitacional, es posible interpretar las soluciones de las ecuaciones contenidas en los modelos citados.

En la cosmología hay que responder una cuestión fundamental: qué considerar como un buen parámetro de evolución. Si como tal se tomara el tiempo calculado de acuerdo con los procedimientos relativistas, a lo más que se puede aspirar es a describir la marcha de los relojes en el sistema de referencia elegido y, por lo mismo, no podría servir como medida para el tiempo de todo el universo en su conjunto; es decir, como tiempo cosmológico. Por lo cual se hace necesario retomar con más determinación el concepto tiempo, a partir de la construcción de diversas cantidades invariantes, que sean las mismas en todos los sistemas de referencia y puedan reflejar con más certeza el cambio a que es sometida la región asociada del universo, generalizando al considerar que todo el universo está sometido a dichos cambios, y mediante la medición de éstos juzgar sobre la marcha del tiempo cosmológico, pues para ello ya se cuenta, de esta manera, con el patrón indicado.

A menudo como parámetro de evolución (tiempo) es tomado el volumen 3-dimensional de la región estudiada. Los cambios de este volumen pueden

[13] 0.000 000 000 000 000 000 01 segundos.

interpretarse como el paso del tiempo; también pueden indicarse otras cantidades con la propiedad de ser invariantes.

Sea cual fuere el modelo cosmológico utilizado, deberán responderse siempre las preguntas: ¿para qué etapa de desarrollo del universo es válido?, ¿existe el origen del universo?, ¿el tiempo es finito o infinito?

La cosmología y la astronomía extragaláctica por lo regular intentan dar respuesta a algunas preguntas comunes. Entre ellas el problema cosmológico (particular) referente al esclarecimiento del pasado del universo como un todo.[14] Un matiz particular de éste es el relacionado con el "inicio" del tiempo, así como el significado de este concepto. No obstante que aún no han sido aclarados del todo estos aspectos, sí es posible dilucidar un poco al respecto.

1. Es posible que en el pasado el universo se encontrase en un estado especial correspondiente al "inicio" del tiempo; es decir, al comienzo de la evolución, con lo cual el tiempo antes de este "inicio" carecería de sentido físico. Si se pudiese hablar del tiempo antes del comienzo de la evolución del universo, sin existir aun éste, tendríamos que admitir la creación del mundo. El tiempo y el espacio son inseparables de la materia, por eso es correcta del todo la imposibilidad de introducir y utilizar el concepto de tiempo antes del "inicio", si acaso éste tuvo lugar. Con base en lo anterior, parecen ser razonables las suposiciones de que tanto la finitud del tiempo en el pasado como su "inicio" en los modelos que describen con más acierto nuestro universo (denominados modelos de Friedmann), son "singularidades". Este último término indica ante todo la imposibilidad de aclarar, de acuerdo con la teoría actual, los conceptos con él relacionados: las magnitudes estudiadas se vuelven infinitas. Algunos cosmólogos consideran este procedimiento bastante satisfactorio, y a otros autores no les satisface la extrapolación literal de los modelos friemannianos a estados con densidad infinita. Parecen más naturales los modelos ya sea con tiempo infinito, ya con una cierta región separada en la cercanía del "inicio" (el punto $t=0$ en los modelos friedmannianos), en la cual en general no se pueden utilizar los razonamientos espacio-temporales ya conocidos.[15] Además, es posible afirmar que, con base en las teorías físicas existentes, una aproximación como se quiera de cercana al "inicio", utilizando las ecuaciones de la TGR, es incorrecta. Para ello es suficiente indicar que la TGR fue construida sin la consideración de efectos cuánticos. Al acercar las escalas a cero, en algún momento

[14] A. Aureus y V. L. Guinsburg, *En torno a la teoría relativista*, Moscú, Edit. Nauka, 1979.

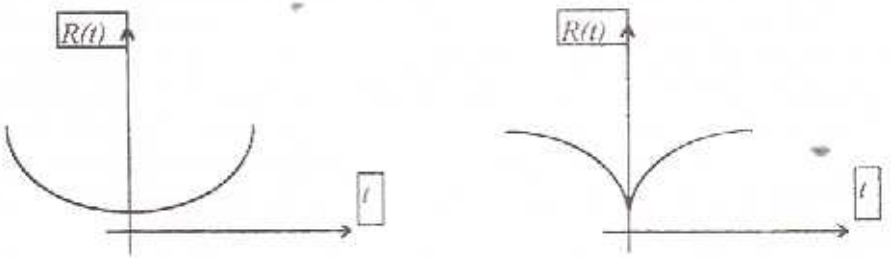
[15] W. Rindler, *Essential Relativity: Special, General and Cosmological*, 2a. ed., Nueva York, Texts and Monographs in Physics, Editorial Springer, 1979.

los efectos cuánticos aparecerán aunque sea para distancias del orden de la longitud plankiana[16] y tiempos respectivos t_{gr}.[17] Señalemos que al tiempo t_{gr} le corresponde una densidad ρ del orden de 5×10^{93} gr/cm^3. [18] En semejantes regiones o en aun mayores, los conceptos espacio-temporales son claramente inapropiados. Por eso la afirmación sobre las "singularidades" en el sentido común de la palabra (como densidad infinita de la materia) puede carecer de sentido hablando con rigor.

En conclusión, el "inicio" del tiempo, así como su finitud en el pasado, son significativamente más complicados de lo que a simple vista pudiera parecer. La creación al "inicio" requiere un análisis especial, mientras que la afirmación de la finitud del tiempo y la infinitud de la densidad en el "inicio" son de carácter verdaderamente condicionado; ello significa que al discutir sobre éstos hay que hacerlo con las precisiones correspondientes.

2. En el pasado, el radio R de curvatura del universo llegó a un valor mínimo diferente de cero, mientras que la densidad de la materia alcanzó correspondientemente un máximo. Ante esto, el universo no se expandía, más bien se contraía. Sin duda, los modelos con semejante conducta son muy variados. Veamos las soluciones a las ecuaciones del campo con el término cosmológico Λ (ver p. 140) e ilustradas en seguida en la gráfica para la función R(t).

Gráfica 1



[16] Que es del orden de 1.6×10^{-33} cm, esto es, 0.000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 0016 cm.
[17] Del orden de 0.5×10^{-33} seg.
[18] Esto es, el 5 seguido de 93 ceros!

Como se observa, la curvatura R(t) no alcanza el valor cero; es decir, el correspondiente a una densidad infinita de materia y, además, no es una función oscilatoria o periódica. En estos gráficos se han tomado sólo modelos homogéneos e isotrópicos del universo. Si el término Λ no es considerado, entonces no tienen lugar las soluciones ilustradas.

La suposición de que el tiempo es infinito como se ha hecho en los esquemas mostrados, trae consigo ciertas dificultades, que dependen en gran medida del valor de la densidad máxima alcanzada durante la contracción, pero, en general, ellas están relacionadas con la posibilidad del congelamiento del movimiento en el universo (muerte termodinámica), con la acumulación de neutrinos, etcétera.

¿Es el tiempo finito en el pasado (en el sentido aquí expresado) o es infinito? Es esencial responder para resolver el problema cosmológico, y en seguida concretar el modelo de universo. Por el momento no hay otros caminos que lleven a la solución del problema planteado, a menos que se logre descubrir el máximo de la densidad en la región relativamente alcanzable de densidades menores que ρ aproximadamente igual a 10^7gr/cm^3; es decir, para un tiempo de t aproximado a 0.3 seg, lo cual es poco probable.

En el plano teórico, los modelos de universo más aceptados son aquellos con "singularidad" en el pasado, la cual deberá analizarse con base en los efectos cuánticos. Aun así, el tiempo en el pasado resulta ser no tanto finito como indeterminado. Lo interesante de estos modelos es que no conllevan a las dificultades observadas en los modelos con tiempos infinitos. Es posible también que esa característica sea ilusoria, ya que la influencia de los efectos cuánticos en la "singularidad" (o en las cercanías del "inicio") en general no es conocida y, por lo mismo, no hay ninguna garantía de no encontrar otras dificultades o nuevas posibilidades. En la actualidad, son estudiadas nuevas direcciones de investigación, orientadas a los efectos cuánticos. En concreto, se discute el surgimiento de nuevas partículas, por ejemplo, del par protón-antiprotón, electrón-positrón, etcétera, en los estadios tempranos de la expansión. De esta manera, el problema cosmológico en modelos con "singularidades" está directamente conectado con la física de partículas elementales.

Lo señalado no nos proporciona una idea completa sobre la "singularidad cosmológica". Sin embargo, puede concluirse que el problema es complejo y variado y, además, está relacionado con un profundo análisis de las concepciones espacio-temporales, que pueden cambiar radicalmente en un futuro cercano. Pese a las dificultades encontradas, la cosmología ha avanzado bastante pues se tiene ya conocimiento bien cimentado en radioastronomía

y astronomía roentgen, radiogalaxias, quasares, fondo radiactivo, pulsares y expansión del universo. Todo ello alcanzado durante setenta y nueve años de existencia de los estudios modernos en cosmología.

Seguramente, cuando en el año 2017 se celebre el centenario de la cosmología moderna, las ondas y partículas, emisarios de mundos lejanos, nos habrán dicho mucho más cosas de las que hoy conocemos.

CONCLUSIONES

La manera en que aquí se ha mostrado la evolución del concepto tiempo no es del todo completa, pero cumple con el interés inicial de señalar las etapas más importantes en su desarrollo, que influyeron decisivamente en la historia de la ciencia física.

Se designa "tiempo" a la duración de procesos o el intervalo de espera en la sucesión de un evento respecto a otro. Es decir, inicialmente este concepto es una designación lingüística de un atributo de la materia, puesto que en ella nada está inmóvil y sus múltiples formas se encuentran en perpetuo movimiento, ya sucediéndose unas a otras, o recombinándose entre sí para generar nuevos y distintos estadios.

El humano en su afán de crear un orden y establecer patrones de referencia para satisfacer sus necesidades de medición, libera en su evolución el concepto tiempo de la matriz que le dio vida, de su origen, y le proporciona una existencia separada de la materia, para luego construir un "sistema lógico" respecto al mismo concepto, basado en la relación "causa-efecto". Inmaterializado así el "tiempo", son construidas diferentes disciplinas del quehacer humano, entre ellas la física.

En el avance del intelecto por el camino del egocentrismo humano, los procedimientos de medición se han ido perfeccionando día con día, de tal modo que en la ciencia moderna se han advertido, durante experimentos de frontera, rompimientos del "sistema lógico" así construido y la no observancia en la naturaleza de las leyes y mecanismos de esa "lógica". Esta situación se da sobre todo en dos grandes niveles:

1. Micromundo. El concepto de partícula elemental pierde sentido puesto que al intentar delimitar energéticamente las partículas "básicas" que constituyen la materia, se descubren otras y así sucesivamente, de tal manera que el adjetivo de "elemental" tan sólo marca cada vez el límite de la posibilidad humana de obtener los niveles de energía

referentes al umbral energético de existencia de cierta partícula. Además, la conducta de las partículas, en general, no parece reconocer su propia "historia" (como los ¡humanos!), y cada vez obliga a introducir nuevas leyes de simetría en su descripción teórica, con el fin de que sean explicables las observaciones y conclusiones de los datos experimentales. Se dice últimamente de la existencia de propiedades del espacio-tiempo intrínsecas sólo de las partículas, de espacios internos y características tan exóticas del micromundo, que sólo faltarían la sal y la pimienta para tener en verdad el suculento platillo, del cual "alguien" construyó y estructuró el mundo para envidia del humano, pues le han ganado el papel de "creador".

2. Macromundo. Es a escalas muy grandes de velocidades y de distancias que, de acuerdo con los resultados de la relatividad general, la dirección del tiempo, así como las direcciones espaciales, se entretejen de tal manera que ya resulta indistinto cuál dirección, si temporal o espacial, tomar para el análisis de las magnitudes físicas de interés. Así pues, a esas escalas se puede referir al conjunto espacio-temporal sólo como otro atributo de la materia y, en general, carece de sentido el separarlo en componentes. A nivel cosmológico es aún un problema sin resolver la aparente distribución de zonas homogéneas y no homogéneas de nuestro universo a grandes escalas, pues cabe en principio la existencia de un "inicio" al menos para el universo actual; estas dos situaciones no son compatibles del todo dentro de un mismo modelo, amén de que la consideración del "inicio" del universo requiere una descripción cuántica de la gravitación, lo cual hasta el momento no ha podido realizarse.

En general, el actual desarrollo de la física señala un acercamiento cada vez mayor en la manera de considerar el tiempo de acuerdo con su surgimiento. Esta toma de conciencia se realiza en forma simultánea en los dos grandes niveles indicados. Esto hace crecer nuestras esperanzas de que en un futuro no lejano se obtenga una teoría unificada de las interacciones físicas ya conocidas, y se inicie luego una etapa más avanzada en el desarrollo del intelecto humano, enfocada hacia el esclarecimiento del gran enigma de la humanidad ¿qué somos?

Bibliografía

Bell, J. S. *Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanic*. Cambridge University Press, 1991.

Cornejo García, M. "Filosofía del lenguaje en física". Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad de Guadalajara, 1990.

Davies, P. *Other Worlds*. Nueva York: Simon and Schuter, 1980.

Everet, Hugh. *Review of Modern Physics*, 29-3, 454 (957).

Hawking, S.W. *Historia del tiempo*. Editorial Crítica, 1988.

Lawden, D. F. *An Introducction to Tensor Calculus, Relativity and Cosmology*. 3a. ed. John Wiley and Sons, 1982.

Park, D. *The Image of Eternity*. New American Library the University of Massachusetts Press, 1981.

Peebles, P. J. E. *The Large-Scale Structure of the Universe*. Princeton University Press, 1980.

Ryan, M. P. Jr. y L. C. Shepley. *Homogeneous Relativistic Cosmologies*. Princeton Series in Physics, Princeton University Press, 1975.

Whitrow, J. *La estructura del universo*. México: FCE, 1952.