

EL TIEMPO A TRAVÉS DEL TIEMPO

Adolfo Aramayo¹

Carrera de Física—U.M.S.A.
La Paz, Bolivia

RESUMEN

Primeramente se plantea una revisión del concepto de tiempo durante la Antigüedad, el de Parménides y el de Heráclito, en particular, para después procurar una reformulación de la cuestión del tiempo en base al concepto de Kant, poniendo de relieve la confrontación entre determinismo y libre albedrío. Luego se ofrece una revisión cronológica de la noción implícita de tiempo en la Relatividad, la Mecánica Cuántica y la Termodinámica, concluyendo, así, que el tiempo no es absoluto, tiene dirección y que su orden causal no puede responder únicamente a un determinismo científico.

1. INTRODUCCIÓN

De todas las nociones, la del tiempo es, probablemente, la más inaccesible a la mente humana. Es interesante constatar que esta afirmación se realiza mientras *el tiempo pasa* y que ni bien se la ha sentenciado, *ya* pertenece al pasado.

De todas las cualidades del tiempo, las de *pasado, presente y futuro* son las más cercanas a la experiencia inmediata por la repercusión que tienen en todo evento que acaece. Así, todo evento, previsto parcialmente en lo que llamamos futuro, *tiene lugar*, finalmente, en un presente, para pertenecer inmediatamente después a un pasado que no se puede modificar: el tiempo es irreversible.

¿Cómo es posible que todas las posibilidades que contempla el futuro se reduzcan a una sola en el presente y cómo se puede saber *dónde estaban antes y a dónde van después?* Esta preocupación se puede resumir en las palabras de Hans Reichenbach, preguntándonos “qué es el tiempo, si todo lo que tenemos de él es este Ahora, este momento único que se desliza con nosotros a través de la corriente de eventos que fluye del pasado inmutable al futuro incognito”. [1]

Está claro que este cuestionamiento está permeado por la percepción que tenemos y por la sensación que nos causa el tiempo. Es por ello que esta aproximación no puede ser considerada estrictamente científica, haciéndose necesaria una reformulación de la pregunta *¿Qué es el tiempo?* A pesar que esta reformulación no garantiza una respuesta para esta pregunta, es indudable que la reformulación por sí, aportaría nuevas apreciaciones y puntos de vista antes ignorados.

Por otra parte, la mayor de las fatalidades humanas, la muerte, se convierte en el factor que alimenta la búsqueda de una respuesta, pues el temor subjetivo por

la muerte se convierte en un temor objetivo por el tiempo. “El temor por la muerte ha influido de manera decisiva el análisis lógico que los filósofos han dado al problema del tiempo. La creencia de que han encontrado paradojas en el flujo del tiempo es llamada una *proyección* en la terminología psicológica moderna. Esta proyección funciona como un mecanismo de defensa; así, las paradojas tienen por fin desacreditar las leyes físicas que provoquen un antagonismo emocional profundamente arraigado”, dice Reichenbach. Al mismo tiempo, están las creencias de casi toda las religiones en las que se asegura una vida después de la muerte, es decir un escape al flujo del tiempo en una realidad más allá de la terrena y temporal: una vida eterna en contraposición a una vida mortal.

2. EL TIEMPO EN LOS SISTEMAS FILOSÓFICOS DE LA ANTIGÜEDAD

El hecho de que todo acontecimiento o evento este condicionado temporalmente conduce a la deducción lógica de que la realidad física a su vez esté supeditada también al tiempo. Sin embargo, ya en la Antigüedad, filósofos como Platón y Parménides (s. IV aC. y s. V aC. respectivamente) desarrollaron conceptos de Realidad en los que ésta no se concreta sino “es innata e indestructible; ya que es completa, inmutable y sin fin. No fue ni será, sino *es*, a un mismo tiempo, una entidad única y continua.” Platón explica que “el tiempo es la imagen móvil de la eternidad”. Aquí eternidad debe entenderse no como una cantidad de tiempo infinita, sino simplemente como una realidad atemporal.

Platón argumenta en el *Timeo* que el creador “... buscó hacer el Universo eterno, tanto como lo pudiese ser. Ahora bien, la naturaleza del ser ideal era perenne, pero era imposible conceder este atributo, en su totalidad, sobre una criatura. Por tanto resolvió tener una imagen móvil de la eternidad y cuando puso orden en los cielos, él hizo esta imagen eterna pero móvil, de acuerdo al número, mientras que la eternidad por sí misma permanece en la unidad; a esta imagen llamamos tiempo.” [2]

¹Email: aaramayo@fiums.a.edu.bo

Se debe notar que lo que se discute aquí es, en realidad, la imposibilidad de la *realización*, de la transformación, de la conversión o el cambio. (*To become* en inglés o *devenir* en francés.) El sucesor de Parménides, Zenón de Elea (s. V aC.), ilustraría, más tarde, estas ideas mediante sus famosas paradojas.

2.1. Las paradojas de Zenón

Zenón argumenta que si el movimiento es la traslación de un punto a otro, una flecha no puede moverse en tanto no esté exactamente en un punto. Luego, ¿cómo puede llegar al próximo punto? ¿Salta a través de un intervalo atemporal? Obviamente no. Por lo tanto, el movimiento, es decir, *el cambio*, es imposible. O considérese la carrera entre Aquiles y la tortuga, en la que la tortuga parte con cierta ventaja. Al partir, Aquiles tiene que alcanzar el punto que la aventajada tortuga ya alcanzó; para cuando lo logra, la tortuga se ha movido a un punto más lejano. Entonces, Aquiles tiene que alcanzar ese otro punto, pero para el momento en el que lo haga la tortuga habrá alcanzado otro punto más lejano y así *ad infinitum*. Aquiles tendría que atravesar una cantidad infinita de distancias no nulas antes que pueda alcanzar a la tortuga y como esto es ilógico, no alcanza a la tortuga, en consecuencia.

Sin embargo, hoy en día se sabe que la paradoja de la flecha puede ser refutada porque existe un elemento limitante llamado *velocidad* que al ser no nulo en el espacio continuo en el que se mueve la flecha, deja sin sentido la noción de “próximo punto”. Por otra parte, Aquiles sí puede alcanzar a la tortuga porque se sabe que una suma de infinitas partes puede converger, de hecho, hacia un valor que en este caso se traduce como un tiempo finito. Por otra parte, Zenón sabía que la flecha se desplaza por el aire y que Aquiles ciertamente alcanza a la tortuga. Lo que sucede es que Zenón, como Parménides, pretendía mostrar que *el cambio y la realización* son ilusorios y que la Realidad es atemporal.

2.2. Todo fluye

Esta es la frase con la que Heráclito (s. V aC.) resume su filosofía y muestra su oposición a la negación que Parménides y Zenón hacen del flujo del tiempo. Heráclito dice que “uno no puede entrar al mismo río dos veces porque nuevas aguas lo están colmando constantemente”. Sin embargo, lo que Heráclito logra, en realidad, es llamar la atención sobre la naturaleza lógica de cualquier ente físico como una serie de diversos estados en el tiempo; para la *identidad* física de dicho ente no es necesario que estos estados sean iguales. Así, *el cambio y la realización* se hacen posibles.

Para Aristóteles, bajo una línea de pensamiento similar, *el cambio* consistía en introducir entre el ser y el no-ser, es decir, *la realización*, un tercer estado de potencialidad y decir que el cambio es la actualización de los atributos potenciales dentro de una realidad física, dada a causa

de la naturaleza del objeto cambiante, es decir, el cambio es posible e intrínseco y por eso el tiempo, en contraposición a la idea de los atomistas, debe ser continuo. [3]

Así, para Aristóteles el tiempo se puede entender como producto del movimiento y el movimiento, a su vez, como un tipo de *cambio*.

2.3. San Agustín y el tiempo

Durante el siglo IV dC. San Agustín fue responsable de llevar gran parte de la filosofía platónica al centro de la teología cristiana. A pesar que Platón y él no están de acuerdo en los detalles de la creación del mundo, sí lo están en lo que se refiere a la *creación del tiempo*. San Agustín bien puede resumir la preocupación subjetiva por el tiempo, que tanto caracteriza a la Antigüedad, cuando dice:

*Quid est ergo tempus?
Si nemo ex me quaerat, scio;
si quaerenti explicare velim, nescio.*²

Existen, sin embargo, otras coincidencias de pensamiento que se deben resaltar. San Agustín, como Aristóteles, cuestiona la existencia del pasado como del futuro. Trata de solucionar este problema diciendo que el pasado y el futuro sólo tienen sentido si pensamos en ellos en el presente: el pasado es la memoria, el futuro una expectativa y el presente es todo lo que nos rodea en seguida.

3. ¿QUÉ ES EL TIEMPO? UNA REFORMULACIÓN

Estas paradojas y aforismos, producto de una postura emocional hacia el tiempo (cf. **Introducción**, página 50), no dicen mucho acerca de la estructura lógica del mismo, que es lo que se pretende en este ensayo. Para ello es necesario retornar hacia la Física y probablemente comenzar atacando el problema por las cualidades más inmediatas del tiempo, a decir, pasado, presente y futuro.

Un científico podría argumentar, por ejemplo, si es posible cambiar el futuro. La experiencia cotidiana da una respuesta afirmativa a esta cuestión, pero no por ello quiere decir que el futuro no esté determinado, ya que la única diferencia con el pasado es que el primero no es conocido mientras que el último sí lo es. Con esto se quiere discutir una posible simetría en el tiempo, cuestión que está bien fundamentada gracias a la idea de *causalidad*.

La causalidad, o determinismo causal, está en directa relación con la Física que Galileo y Newton desarrollaron en el siglo XVII, pues con ellos y mediante su ciencia *la predicción* se hizo posible. Toda la tecnología de hoy en día es posible porque sabemos que hay relaciones

²¿Qué es entonces el tiempo? Si nadie me lo pregunta, lo sé; si deseo explicarlo a quien me lo pregunta, no lo sé. [4]

causales que gobiernan la naturaleza y, así, la predicción, el control y el comportamiento de los sistemas físicos en juego son realizables. En otras palabras, el futuro *está* determinado.³

Una visión absolutamente determinista puede mostrarse estéril en lo que se refiere a cualquier cambio o innovación que se quiera hacer. Es una repercusión de Parménides y de su imposibilidad del cambio o la realización. Y la siguiente pregunta se hace plausible: ¿Es el presente sólo el reconocimiento de un patrón de eventos ya determinado?

Si la respuesta a esta pregunta fuese afirmativa, entonces se tendría que decir que no se puede cambiar el futuro. Aquí se levanta una paradoja más genuina que las anteriores, la que enfrenta determinismo y libre albedrío: “El sentido común se inclina, por una parte, a creer que *cada* evento es causado por algunos eventos precedentes, de manera que cada evento puede ser explicado o predecido. . . Por otra parte, . . . el sentido común atribuye a toda persona humana madura y sana . . . la habilidad para elegir libremente entre posibilidades alternativas de acción”. [6]

Para comprender mejor esta nueva paradoja es necesario hacer una revisión breve de la teoría del tiempo de Immanuel Kant (1724 - 1804). En Kant, la distinción parmenideana de ser atemporal y flujo de tiempo ilusorio reaparece como la distinción de entes atemporales por sí mismos y el tiempo como forma subjetiva y aparente de estos entes. “Kant dice que el conocimiento resulta de una interacción entre la realidad física y la mente humana y que la mente humana impone ciertas formas sobre los entes físicos con el fin de hacerlos comprensibles y accesibles a un orden. Tales formas son el espacio y el tiempo.” [1]

“Si yo mismo o cualquier otro ser pudiese observarme sin estas condiciones de percepción sensorial . . . se produciría un conocimiento en el que el concepto de tiempo y cambio no tendrían lugar.” [7]

Así, al proponer la ilusión del tiempo de una manera más elaborada, Kant también salva el libre albedrío o la posibilidad de la acción anticipada: en otras palabras, encuentra un escape al determinismo causal, a pesar que éste lo había impresionado fuertemente por el alcance que tenía la Física newtoniana. Al mismo tiempo, Kant vio muy bien la relación cercana

³ “Debemos considerar el estado presente del Universo como efecto del estado anterior y causa de su estado posterior. Una inteligencia que conociese por un instante todas las fuerzas que controlan la naturaleza y, en adición, las posiciones relativas de todas las entidades de las que la naturaleza está compuesta – si fuese suficientemente grande para realizar el análisis matemático de estos datos – contendría en la misma ecuación los movimientos de los cuerpos más grandes del Universo y aquellos del átomo más ligero: nada sería incierto para esta inteligencia y el futuro como el pasado estarían presentes a sus ojos.” [5]

entre tiempo y causalidad. Vio, particularmente, que un orden temporal es posible por un orden causal [1]. Sin embargo, para Kant, el orden causal es tan subjetivo como el tiempo y la Física sólo puede describir la apariencia del mundo, no su realidad. Por lo tanto el mundo *real* se ve liberado de las leyes causales.

En contraposición a Kant, Henri Bergson (1859 - 1941), filósofo francés ganador del premio Nobel [1], clama haber construido un sistema en el que *el cambio o la realización* son la esencia del tiempo, pero, al igual que en el caso de Kant, esta otra visión, si bien está mejor elaborada y fundamentada en una ciencia física ya estructurada, tampoco ofrece una reformulación última sobre la cuestión del tiempo.

Reichenbach concluye: “No hay otro medio de resolver el problema del tiempo que no sea el de la Física. Más que cualquier otra ciencia, la Física ha estado relacionada con la naturaleza del tiempo.” Si, en efecto, hay una relación profunda entre la Física y el concepto de tiempo, deben analizarse en particular las implicaciones que tienen, en especial, tres ramas de la Física Moderna: la Termodinámica⁴, la Relatividad y la Mecánica Cuántica, por lo que puedan decirnos de la dirección, el relativismo y el determinismo en el tiempo, respectivamente.

4. EL TIEMPO EN LOS SISTEMAS FÍSICOS DE LA MODERNIDAD

Para revisar el criterio de Reichenbach sobre la resolución del problema del tiempo, a continuación se presenta un análisis cronológico aproximado (de acuerdo a Dampier [9]) de los eventos físicos que marcaron una tendencia en cuanto al concepto del tiempo.

“El invento a finales del siglo XIII del reloj mecánico, en el que las manecillas traducían el tiempo en unidades de espacio sobre la esfera, completó la sustitución del tiempo *orgánico*, progresivo, irreversible (tal como era vivido), por el tiempo abstracto, matemático, de unidades sobre una escala, que pertenecía al mundo de la Ciencia.” [3]

Ilya Prigogine afirma [11]: “Fue la incorporación del tiempo en el esquema conceptual de la física galileana la que marcó los orígenes de la ciencia moderna.” Galileo Galilei (1564 - 1642) hace dos planteamientos importantes a lo largo del siglo XVII. Uno de ellos consiste en la posibilidad de medir un *tiempo absoluto* observando el paso de los satélites de Júpiter por delante y por detrás de dicho planeta. El efecto práctico, que en realidad estaba buscando Galileo, permitía entonces medir las longitudes (en contraposición a las latitudes) con una mayor precisión. El segundo de sus

⁴ La inclusión de la Termodinámica como una de las ramas de la Física Moderna se debe al análisis que se dará, más adelante, de la Segunda Ley de la Termodinámica, en la versión de Ludwig Boltzmann [8] que bien corresponde a lo que ahora conocemos como Mecánica Estadística.

planteamientos, respecto al tiempo, establece que los periodos de oscilación de un péndulo son los mismos, lo que a su vez permite la construcción de mejores relojes. Sin embargo, lo que aquí hay que subrayar es que Galileo creía en el carácter absoluto del tiempo.

El filósofo y matemático inglés Isaac Barrow (1630 - 1677), tutor de Isaac Newton, propone que el espacio y el tiempo son absolutos. Es posible que esta noción haya influido poderosamente en el desarrollo de la Física newtoniana. De hecho, Isaac Newton (1643 - 1727) sentencia: "...el tiempo absoluto, verdadero y matemático fluye igualmente de sí mismo y a partir de su propia naturaleza sin relación a nada externo." [12] Por otra parte, el filósofo alemán Gottfried W. Leibniz (1646 - 1716) rechaza esta posición explicando que los conceptos de espacio y tiempo debieran ser conceptos empíricos formados por abstracción de nuestras percepciones sensoriales de las cosas reales.

A propósito de la postura de Kant (ya discutida) Bertrand Russell (1872 - 1970), el filósofo de la ciencia inglés, ha considerado que más que un avance o un aporte, esta filosofía fue un escollo y produjo un retroceso en el progreso de las ideas y conceptos científicos. Sin embargo, es interesante reconocer que Kant fue, en su tiempo, lo que podría considerarse un buen científico gracias a su amplio conocimiento de la Física de su época.

La Revolución Francesa dió su propia contribución a la noción del tiempo, organizando las medidas o dimensiones fundamentales. Así, Jean Fourier (1768 - 1830) puso de manifiesto en su obra *Théorie du Chaleur* que las magnitudes físicas secundarias, todas derivaban de tres cantidades fundamentales, a decir, la longitud, la masa y el tiempo.

Una de las consecuencias de la visión newtoniana del tiempo es que las leyes mecánicas se desarrollan igualmente si el tiempo corre hacia delante como hacia atrás. Es decir existe una completa simetría en lo que se refiere a la dirección del tiempo. Rudolf Clausius (1822 - 1888) rebate esta posición en 1850 al presentar un artículo ante la Academia de Ciencias de Berlín en el que propugna la segunda ley de la termodinámica. Esta ley establece, resumidamente, que la aleatoriedad de los componentes de un sistema dado crece siempre. Es decir, la entropía (cualidad cuantificable de la ley en cuestión), siempre es positiva y los procesos en los que está presente – prácticamente todos en el Universo – son irreversibles. Por tanto, el tiempo tiene una dirección, si es que mantenemos la visión mecanicista del mundo que Newton inició.

4.1. Aportes del siglo XX

En 1870 el matemático alemán Carl Neumann (1832 - 1925) cuestiona la idea de inercia como Newton

la plantea. En particular Neumann pregunta qué debería entenderse por inercia si el Universo estuviese constituido por una sola partícula y si así se pudiese, en efecto, construir un verdadero reloj inercial que marcara *un verdadero tiempo absoluto*. Sin embargo, ¿cómo podemos saber que una partícula esta definitivamente sujeta a una fuerza o no?

En 1883 Ernst Mach (1838 - 1916) publica una historia de la mecánica en la que presenta argumentos en contra de las ideas newtonianas de espacio y tiempo absolutos. Newton argumenta que el movimiento inercial se da en relación al espacio absoluto mientras que Mach argumenta que el movimiento inercial sólo puede darse en relación al promedio de la masa en el Universo. Por otra parte, Mach creía que lo que entendemos por tiempo es sólo gracias a *los cambios mecánicos* y no de manera inversa.

En 1898 Henri Poincaré (1854 - 1912) presenta un artículo en el que plantea dos preguntas sumamente significativas: ¿Qué quiere decir que un segundo hoy es igual a un segundo mañana? ¿Qué quiere decir que dos eventos que están separados en el espacio ocurran al mismo tiempo?

La primera de estas preguntas no tiene una respuesta definitiva hasta hoy. Sin embargo, un número de filósofos ha llegado a la conclusión de que el tiempo es una sustancia que permea el espacio sin fluir necesariamente. Ellos argumentan que la noción de flujo es inconsistente internamente. "El concepto de flujo, después de todo, hace referencia al movimiento. Tiene sentido hablar del movimiento de un objeto físico, como una flecha a través del espacio, determinando como su posición varía con el tiempo. Pero ¿qué significado puede darse al *movimiento del tiempo* mismo? Formulando la simple pregunta *¿Cuán rápido pasa el tiempo?* expone lo absurdo de la pregunta misma. Así, la respuesta trivial *un segundo por segundo* no nos dice nada en absoluto" [13]. La mayoría de los físicos dirían, en este sentido, que el flujo del tiempo es irreal pero que el tiempo, por sí mismo, es tan real, como el espacio. De hecho, un reloj mide el paso entre eventos tanto como una cinta mide las distancia entre lugares; pero un reloj no mide la velocidad con la que cada momento sucede al siguiente. Por lo tanto, tal pareciera que el flujo del tiempo es subjetivo, no objetivo.

Cuatro años después, en 1902, Poincaré presenta otro artículo en el que pregunta qué información es requerida para predecir el futuro en un marco relativista (no así un marco absoluto como el que imaginaba Laplace), es decir, conociendo sólo las velocidades y posiciones relativas de las partículas contempladas. Albert Einstein (1879 - 1955) resuelve en 1905 las *cuestiones relativistas* planteadas por Poincaré en sus artículos de 1898 y de 1902, exigiendo simplemente dos cosas: Que las

leyes físicas sean las mismas para cualesquiera dos observadores moviéndose relativamente a velocidad constante y sobre los cuales no actúe ninguna fuerza. Lo segundo es que se considere la velocidad de la luz como una constante independiente de la velocidad de su fuente. Así, estos dos postulados permiten abandonar la idea de un espacio y un tiempo absolutos.

Es llamativo el hecho de que fuesen precisamente las tres magnitudes fundamentales propuestas por Fourier las que sufrieran cambios radicales bajo la nueva luz que arrojó la Teoría de la Relatividad sobre ellas. Ahora sabemos que para velocidades comparables a la de la luz, la masa (entendida como inercia traslacional) crece desmesuradamente, mientras que la longitud se contrae y, principalmente para lo que nos toca, el tiempo se dilata. Conclusión: ¡ni el espacio ni el tiempo son absolutos! Son relativos en función del observador. Pero ¿qué quiere decir que el tiempo se dilate o que los relojes marquen el paso del tiempo más lentamente? Es, sin duda una pregunta difícil. Lo seguro es que sobre cuantos relojes se ha probado esta teoría, la misma se ha comprobado siempre.

Como consecuencia de la teoría propuesta por Einstein, años más tarde Hermann Minkowski (1864 - 1909) fundamentó la base matemática de la teoría introduciendo un espacio de cuatro dimensiones, el espacio-tiempo. En este espacio matemático sólo la entidad espacio-temporal puede tener carácter absoluto. En las palabras de Hermann Weyl (1885 - 1955), “es un continuum cuatridimensional que no es espacio ni es tiempo.” [14] Por otra parte, si el astrónomo danés Olaf Römer ya pudo constatar que la velocidad de la luz es finita en 1676, es discutible el hecho de que hayan tenido que pasar más de 200 años para dilucidar la relatividad del tiempo.

Hay quienes creen que la Teoría de la Relatividad Especial plantea más problemas que soluciones a la cuestión del tiempo. Dado que el tiempo sólo es significativo para un solo observador, pues cada uno tiene un tiempo propio asociado, ¿qué significa decir *ahora*? Einstein creía que éste era un concepto humano que ya no podía tener lugar en esta nueva descripción del Universo. Sin embargo, el mismo escribió: “... hay algo esencial acerca del *ahora* que está fuera del reino de la ciencia.” [14]

Cuando Einstein incorporó la gravitación a la teoría del espacio-tiempo lo que resultó de ello fue la Teoría de la Relatividad General. En este caso, no sólo la velocidad tenía repercusión sobre el tiempo sino también los cuerpos masivos. Así, por ejemplo, un reloj sobre la superficie de la tierra se retrasa 10^{-9} segundos cada hora, en comparación a un reloj alejado, en el espacio, de cualquier cuerpo masivo. Hoy en día se han comparado incluso los tiempos que miden dos relojes, uno en la azotea de un edificio y otro en la

planta baja. Al otro extremo están los agujeros negros, en los que el campo gravitacional es tan intenso que el tiempo se detiene efectivamente sobre su horizonte de eventos. A la vista de efectos tan sorprendentes, no sería apropiado preguntarse ¿qué es lo que realmente se dilata en cualquiera de estos relojes ideales que son, al parecer, el mejor reflejo del tiempo?

Otra de las grandes revoluciones del siglo XX tuvo lugar con el desarrollo de la Mecánica Cuántica.⁵ Werner Heisenberg (1901 - 1976), uno de los constructores de esta teoría, descubrió el Principio de Incertidumbre en 1927. Este principio establece que el producto de las incertidumbres de dos cantidades (llamadas “complementarias” o “conjugadas”), como las de velocidad y posición, tiene un valor límite. Es decir, que cuanto mayor precisión se requiere de una de las cantidades, menor es la precisión en la otra. Como se ve, este principio impone una restricción al determinar las posiciones y velocidades de un conjunto de partículas con un grado de precisión absoluto. De este modo no es posible determinar, tampoco, ningún futuro para el sistema en el que dichas partículas se encuentren puesto que las incertidumbres se irían multiplicando. Por tanto, el sueño determinista de Laplace es imposible. Estas cantidades físicas no sólo se limitan a la posición y la velocidad, sino también pueden, equivalentemente, ser el tiempo y la energía. Así, entonces, al no ser posible la determinación de una medida temporal con cualquier precisión, es evidente la imposibilidad de un tratamiento adecuado de la cuestión del tiempo a escalas en la que los efectos cuánticos sean apreciables.

Einstein se mostró muy preocupado por las repercusiones del Principio de Incertidumbre, ya que significaba que el mundo no podría ser descrito con total precisión. Procurando una solución se reunió en repetidas oportunidades con Niels Bohr (1885 - 1962) en una serie de entrevistas epistemológicas [10], en las que se vio la necesidad de entender como deberían interactuar teorías básicas como las de Relatividad y Cuántica en cuanto a aspectos tan fundamentales como el espacio y el tiempo.

Los intentos por reunir estas dos teorías aún continúan hoy en día. En el camino se han encontrado, sin embargo otros problemas. Ahí está, por ejemplo, la famosa paradoja EPR en la que aparentemente se transmite información a velocidades mayores que la de la luz, lo que viola unos de los postulados de la Relatividad, con implicaciones inmediatas para la cuestión del tiempo, que aún no han sido estudiadas completamente. (Las condiciones experimentales de la paradoja fueron mostradas en los años 80.) Una de las muchas hipótesis propuestas desde entonces es la de Stephen Hawking en la que el tiempo no es único. Existe uno *imaginario*,

⁵Es interesante mencionar que el escenario en el que se desarrolló esta teoría fue el tiempo absoluto de Newton.

necesario a la evolución del Universo, y otro *real* que *percibimos y medimos*. [15]

Finalmente, está la Termodinámica que mediante su concepto de entropía condiciona la dirección del tiempo, lo hace irreversible. En base a los descubrimientos en termodinámica de Sadi Carnot (1796 - 1832) en 1821, Rudolf Clausius y William Thomson (más tarde distinguido con el título de Lord Kelvin), establecieron, a mediados del siglo XIX, la segunda ley de la termodinámica, “un principio que hace posible la expresión matemática de una dirección que controle el curso de los eventos físicos.” [1] La primera ley de la termodinámica estipula la conservación de la energía. En su forma clásica, la segunda ley estipula la existencia de una cantidad, llamada *entropía*, que en algunos casos permanece constante, en otros se incrementa, pero que en ninguno disminuye. Los procesos irreversibles son aquellos en los que la entropía aumenta. La entropía puede ser considerada una función de estado que describa un sistema en el que la suma total de los cambios en la entropía sea positiva. Esto, siempre y cuando el sistema sea cerrado. Sin embargo, un sistema mecánico – en contraposición a uno termodinámico – sufre cambios mecánicos (no termodinámicos) que no afectan el valor de la entropía de dicho sistema.

Existen, de todas formas, ciertos sistemas en los que hay procesos que *se pueden considerar* reversibles si los procesos termodinámicos son lentos, o semejan estados de equilibrio sucesivos, o si los sistemas no son estrictamente cerrados. También se pueden considerar como procesos reversibles aquellos ciclos termodinámicos (por ejemplo, el ciclo de Carnot) para los que la energía agregada necesaria para revertir el ciclo, es pequeña en comparación a la energía introducida u obtenida en el ciclo. Así, estrictamente hablando, ningún proceso natural – incluyendo los mecánicos⁶ – es completamente reversible.

Todo esto indica que la dirección de los procesos físicos puede ser descrita por una función de estado que a su vez describe el grado de equilibrio alcanzado en el sistema considerado. Este grado de equilibrio puede entenderse como el grado de ordenamiento en el sistema. En el caso del Universo, considerado como un sistema cerrado, esto se traduce como la existencia de un tiempo positivo - una dirección preferida - en el que se alcanza estados sucesivos a mayor entropía, es decir, estados cada vez más parejos o equilibrados.

A todo esto Ludwig Boltzmann (1844 - 1906) aportó una corrección muy valiosa: el principio de incremento de la entropía debe ser considerado no como una ley causal, sino como una ley estadística. “No debemos decir *la entropía debe hacerse mayor*, en el sentido en

el que decimos *la energía debe permanecer constante*. Debemos decir, *es altamente probable que la entropía se incremente*. En otras palabras, la reversibilidad en un proceso termodinámico no es físicamente imposible; es meramente improbable.” [1] Boltzmann descubrió la naturaleza estadística de la entropía. “El orden es una excepción en un mundo azaroso. La dirección de los procesos físicos, y la *dirección del tiempo*, es concebida como un acto estadístico: el acto de realización (transformación o cambio) es la transición de configuraciones improbables a probables. Es esta interpretación de la dirección del tiempo que debe estudiarse. Veremos que representa, en efecto, el núcleo del flujo del tiempo.” [1]

He aquí que debe hacerse una distinción: la primera ley de la termodinámica es causal. La segunda ley es estadística. ¿Cuál de ellas es más fundamental? ¿Es posible derivar una de la otra? En los tiempos de Boltzmann era evidente una preferencia por la prioridad lógica de la primera ley. La segunda era considerada una ley *faute de mieux* – una formulación tentativamente adoptada a falta de algo mejor. De acuerdo a esta opinión las leyes estadísticas deberían reducirse a leyes causales deterministas.

Sin embargo, también es posible lo contrario. Y esta posibilidad está apoyada por la interpretación usual de la Mecánica Cuántica como una descripción estadística de la naturaleza [10]. Desde los primeros días de la formulación de la Mecánica Cuántica fue evidente cómo el tiempo afecta esta teoría de una manera única, muy diferente a cómo lo hace el espacio. El indeterminismo cuántico implica que para un estado cuántico, en particular, hay muchos (posiblemente infinitos) futuros alternativos o realidades potenciales. La Mecánica Cuántica indica las probabilidades relativas para el resultado de cada observable, es decir, para cada cantidad a ser medida, pero no indica qué futuro potencial está destinado a ser realidad. Sin embargo, cuando un observador hace una medida, uno y sólo un resultado es obtenido. Para la mente del observador lo posible hace su transición hacia lo específico – el futuro abierto hacia el pasado fijo – que es precisamente lo que entendemos como *flujo del tiempo*.

5. UNA CONCLUSIÓN TEMPORAL

Hoy en día, incluso la Psicología ha tomado parte del debate y ha propugnado si acaso no son los procesos irreversibles termodinámicos estadísticos los que imprimen el inexorable paso del tiempo en nuestras mentes. Por otra parte, no hay consenso entre los físicos acerca de cómo la transición de muchas realidades potenciales hacia una sola realidad toma lugar. Muchos físicos creen que ello tiene que ver con la conciencia del observador, argumentando que es el acto de observación el que obliga a la naturaleza a decidirse por una situación particular. Unos pocos investigadores, como Roger Penrose de la

⁶En los procesos mecánicos, también puede haber disipación por calor.

Universidad de Oxford, mantienen que la conciencia – incluyendo la impresión del flujo temporal – podría estar relacionada a procesos cuánticos en el cerebro.

“¿Qué sucedería si la ciencia fuese capaz de descartar el flujo del tiempo? Tal vez ya no temeríamos el futuro o lamentaríamos el pasado. Las preocupaciones acerca de la muerte serían tan irrelevantes como las que tenemos acerca de un nacimiento. La esperanza y la nostalgia dejarían de ser parte del vocabulario humano. Sobre todo, el matiz de urgencia que caracteriza toda actividad humana, se evaporaría. Ya no seríamos esclavos de las palabras de Henry Wadsworth Longfellow cuando dice ‘*actúa, actúa en este presente*’, pues el pasado, el presente y el futuro serían, literalmente, cosas del pasado.” [13]

Todo esto nos lleva a preguntarnos: ¿Podemos contraponer un tiempo clásico a uno estadístico? Y si es así, ¿qué puede significar que esté abierta la posibilidad a los procesos irreversibles y que la dirección del tiempo no sea única? La pregunta está abierta y las respuestas... esperando.

REFERENCIAS

- [1] Reichenbach, Hans. *The Direction of Time*. University of California Press. 1956.
- [2] Platón. *Timeo*. 360 aC.
- [3] Crombie, A. C. *Historia de la Ciencia: De San Agustín a Galileo*. Alianza Editorial. 1987.
- [4] Augustini, Aureli. *Confessio*. 397.
- [5] Laplace, Pierre Simon de. *Essai philosophique sur les probabilités*. 1814.
- [6] Popper, K. R. *The Open Universe: An Argument for Indeterminism*. Routledge. 1982.
- [7] Kant, Immanuel. *Kritik der reinen Vernunft*. 1781.
- [8] Boltzmann, Ludwig. *On the Relation Between the Second Law of the Mechanical Theory of Heat and the Probability Calculus with Respect to the Theorems on Thermal Equilibrium*. 1877.
- [9] Dampier, W. C. *Historia de la Ciencia*. Editorial Tecnos. 1972.
- [10] Aramayo, Adolfo. *La Naturaleza, la Realidad y la Ciencia. Una Revisión de la Interpretabilidad de la Mecánica Cuántica*. Revista Boliviana de Física, Número 7. 2001
- [11] Prigogine, Ilya. *The End of Certainty*. The Free Press. 1997.
- [12] Newton, Isaac. *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*. 1687.
- [13] Davies, Paul. *That mysterious flow*. Scientific American, September, 2002.
- [14] O'Connor, J.J., Robertson E. F. *A history of time: 20th century time*. http://www-history.mcs.st-andrews.ac.uk/~history/HistTopics/Time_2.html
- [15] Hawking, S.W. *A Brief History of Time*. 1988.