

Material para Diplomado Superior: “ *Enfoques para la democratización del conocimiento científico y tecnológico*”. FLACSO

Profesoras a cargo: Alicia Massarini y Adriana Schnek

Autor: Cristian López

EL TIEMPO EN FÍSICA

Galileo, sin lugar a dudas, fue el primer gran representante de la física moderna, que se constituye como ciencia en Europa hacia mediados del siglo XVII¹. Sus trabajos sobre astronomía y mecánica constituyen los fundamentos de la nueva ciencia centrada, fundamentalmente, en el movimiento. En el método de esta *nova scientia* imperaba un estudio riguroso de los fenómenos físicos y la necesidad de precisión en la determinación de ciertas magnitudes.

Cuentan los especialistas que Galileo cantaba una rítmica y simple tonada como forma de medir el tiempo según los tonos de la melodía². Es evidente que determinar intervalos temporales era una empresa imprescindible. Supongamos que queremos medir la velocidad de una bola que cae sobre un plano inclinado (experimento que Galileo llevó a cabo), para ello debemos determinar la distancia recorrida por la bola y el tiempo que utilizó en recorrer esa distancia. De esta manera, la velocidad estará dada por $v=d/t$, donde la variable d es la distancia recorrida y la variable t , el tiempo. Pero, ¿qué medía Galileo cuándo decía que medía el tiempo? ¿Qué es esa variable t que aparece frecuentemente en las ecuaciones y formulaciones de la física que, como vemos, Galileo necesitó medir recurriendo a métodos poco ortodoxos? La física moderna del siglo XVII no es –sin embargo– un mero conjunto de fórmulas donde se relacionan variables a determinar. Comprender esto es comprender que la nueva ciencia física asume, entre otras cosas, una *nueva configuración del mundo* (nuevas entidades, nuevas relaciones, etc.). Cuando preguntamos *qué* medía Galileo cuando buscaba determinar la variable t , estamos haciendo una pregunta en la cual pedimos que se nos expliciten una serie de definiciones: *qué cosa es esa* que se está midiendo y determina la variable t . ¿Existe esa dimensión como *algo* fuera de nosotros? ¿Es mensurable? ¿Ese *algo* es independiente y separado del cambio de las cosas (v.g. algo separado de la melodía musical que medía y determinaba una cierta cantidad)? Atisbar unas respuestas a estas preguntas nos acerca a comprender mejor el lugar que ocupa el tiempo en la física moderna; sin embargo, las respuestas a estos interrogantes están lejos de ser unívocas: el papel que juega el tiempo en la disciplina está fuertemente ligado a las diferentes teorías físicas y los supuestos ontológicos y epistemológicos que utilizan. Recorrer, aunque sea brevemente, tales teorías allanará el camino para esclarecer nuestros interrogantes.

¹Por “moderno” entenderemos, simplemente, el momento histórico atravesado por la Europa Occidental entre los siglos XVI y fines del siglo XVIII y principios del XIX. La física, como otras ciencias, surgen durante este periodo signado, además, por la aparición del Estado Moderno y el desarrollo del capitalismo.

²Boido, G. (1996)*Noticias del planeta Tierra: Galileo Galilei y la revolución científica*. Buenos Aires: A.Z Editora, p.93

En 1687, con la publicación de los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (*Principios matemáticos de filosofía natural*) de Newton, termina de consumarse lo que los historiadores de la ciencia denominan “*la revolución científica*”. Con tal monumental obra, no sólo se ofrecía un *corpus* teórico sintético y vasto capaz de dar cuenta de los fenómenos del movimiento tanto en la Tierra como en los cielos, sino que se consolidaba una forma de conocer y hacer física: al modo matemático. Las famosas Leyes de la Mecánica de Newton junto con su Ley de Gravitación Universal, ofrecen un claro ejemplo de ello. Sin embargo, la mecánica newtoniana no se agota aquí: es también un conjunto de supuestos y compromisos filosóficos que sirven de base y guía. Entre ellos encontramos su peculiar concepción del *tiempo* y el *espacio*. Dice Newton: “*El tiempo absoluto, verdadero y matemático, por sí mismo y por su propia naturaleza, fluye uniformemente sin referencia a nada externo, y se dice con otro nombre, duración*”³.

Sostener esta posición, es sostener la idea de que existe un *tiempo absoluto*: el tiempo es una magnitud que es idéntica para todos los observadores independientemente de sus estados de movimiento. Es decir, dado un conjunto de acontecimientos y un conjunto de observadores, si se les pide que ordenen temporalmente los acontecimientos en pasado, presente y futuro, todos coincidirán en el orden temporal que les asignen y en los intervalos temporales que midan entre ellos. La misma concepción newtoniana vale para el espacio que, valga la aclaración, es independiente del tiempo: los eventos ocurren en un tiempo y en un espacio, y a su vez éstos son algo diferente y separado de los eventos.

El éxito predictivo y explicativo de la mecánica de Newton fue formidable. Se creyó tener una teoría completa y precisa capaz de explicar la totalidad de los fenómenos. Los siglos XVIII y XIX fueron testigos de tal éxito, y muy pocos se animaron a cuestionar los fundamentos básicos de la teoría tales como la concepción absoluta del tiempo y del espacio. Además, quienes cuestionaron estos presupuestos básicos de la teoría de Newton fueron incapaces de articular una nueva teoría física sobre supuestos distintos con tanto alcance, capacidad explicativa y predictiva como la de Newton.

Sin embargo, a principios del siglo XX la teoría de la relatividad iba a cambiar este modo de entender el tiempo de la física clásica. En 1905 se formula *la teoría especial de la relatividad* y para 1916 su generalización, *la teoría general de la relatividad*. No entraremos en los detalles y matices de cada una de estas teorías, sino que enfatizaremos el punto fundamental que las separa de la mecánica clásica y nos sitúa frente una configuración del mundo diferente a la de Newton. Para Einstein, el tiempo y el espacio ya no pueden entenderse de manera absoluta, sino que estarán sujetos al movimiento de los observadores o se modificarán si éstos están siendo afectados por campos gravitatorios. La medida de tiempo de dos relojes (o la distancia medida por dos reglas rígidas) podría no coincidir en función de estos parámetros. Esto socava ciertos conceptos que se tenían por factuales y absolutos, como el de simultaneidad: para un observador en movimiento dos eventos pueden ser simultáneos, pero podría no ser así para otro observador que se mueve a una velocidad, digamos, mucho mayor respecto del primero ¿quién está en lo correcto? Esta pregunta carece de sentido: de ahora en más el orden de los sucesos, los intervalos temporales transcurridos entre ellos e incluso la simultaneidad de dos sucesos

³Newton, I. (1993) *Principios matemáticos de filosofía natural*. Barcelona: Ed. Altaya (Version original de la primera edición 1687), p. 32

dependerán del sistema de referencia que se escoja. Y, desde esta perspectiva, todos los sistemas de referencia son igualmente válidos.

Pero las teorías de Einstein nos enfrentan a un escenario aún más extraño: si situados en el paradigma de la mecánica clásica podíamos medir y hablar del tiempo y del espacio de manera separada, aquí ya no cabe esta distinción. En la mecánica clásica entendíamos que el espacio es una totalidad *tridimensional* y el tiempo, independiente del espacio, representaba una totalidad *unidimensional*. Para Einstein, por el contrario, el tiempo no es sino una dimensión en una totalidad *espacio-temporal cuatridimensional*, cuyas dimensiones no pueden ser escindibles. De esta manera “tiempo” y “espacio” pierden el carácter privilegiado y fundamental que cumplían en la física newtoniana como algo ajeno a los fenómenos; Einstein dice: “*Para nosotros, físicos convencidos, la diferencia entre pasado y futuro no es más que una ilusión, aunque tenaz*”⁴. De alguna manera, a los ojos de las leyes de la física, el pasado y el futuro son indistintos. Pese a esta posición de Einstein que se desprende de sus teorías, el tiempo fue y sigue siendo un problema físico y filosófico abierto. Reichenbach, un conocido filósofo de mediados del siglo XX, insistía en que “*si hay una solución al problema filosófico del tiempo, está escrita en las leyes de la física*”⁵.

Vale la pena ilustrar un caso particular que sirvió como modelo canónico para pensar el tiempo en física y en la filosofía que se dedicó a encontrar un fundamento físico de algunas de sus características. Nuestra experiencia nos dicta que el pasado es diferente del futuro, y éstos a su vez difieren del presente. Pero más aún, la experiencia nos dicta que el tiempo parece tener una dirección prefijada, como si hubiese una flecha que siempre apuntase en el mismo sentido: hacia el futuro. Esto parece ser una característica fundamental de lo que llamamos tiempo, y tanto físicos como filósofos dedicaron buena parte de sus esfuerzos en encontrar razones físicas para estas características fundamentales. El tiempo debía ser –bajo esta perspectiva–reductible⁶ a procesos físicos que presentaran tales rasgos; la idea consistía en encontrar leyes y procesos que fueran asimétricos y que tuvieran sólo un sentido posible (es decir, que fuesen “irreversibles”). Habiendo encontrado tales procesos, habríamos dado con una manera *fundamentalmente física* de representar y explicar ciertas características del tiempo.

Hacia mediados del siglo XIX, los desarrollos de la termodinámica y luego de la mecánica estadística, dieron una clave posible para iluminar este asunto. El Segundo Principio de la Termodinámica, que nos habla de procesos irreversibles, puede formularse así: los sistemas físicos aislados tienden a estados de máxima entropía y, una vez en tales estados, tienden a permanecer en ellos. La clave de este punto radica en notar que la entropía tiene sólo una dirección posible en su variación: su constante incremento. El siguiente paso, bajo este marco, era relativamente simple: vincular la dirección del tiempo (que apunta hacia el futuro) con el aumento de la entropía. De esta manera tendríamos, también, un criterio para distinguir pasado de futuro: los estados de baja entropía se hallan necesariamente en el pasado y los estados de alta entropía en el futuro.

⁴Citado en Wagensberg, J. (1992). *Proceso al azar*. Buenos Aires: Tusquets editores, p. 15

⁵Citado en Prigogine, I. (1983). *La nueva alianza*. Madrid: Ed. Alianza, p. 106

⁶La idea de “reducir” es una estrategia usual al momento de explicar un fenómeno o concepto determinado. En esencia, consiste en considerar que el fenómeno/concepto se puede explicar a partir de un fenómeno o concepto que considero de un nivel más fundamental o básico, que de alguna manera lo contiene. En el caso del tiempo, se supuso que las leyes de la física eran fundamentales por lo que el concepto de tiempo con sus propiedades debían extraerse de allí.

¿Qué podemos sacar en limpio luego de este breve recorrido? ¿Existe una idea del tiempo unívoca, común a toda la física? A la luz de lo expuesto, lejos estamos de dar una idea completa y definida de qué es el tiempo: la discusión aún permanece abierta. Sin embargo, aquí podríamos concebir dos caminos posibles para completar la respuesta: o no es posible una determinación unívoca de qué es el tiempo en física (pues, cada teoría nueva que surja entenderá de una manera diferente la noción de tiempo en virtud de los presupuestos epistémicos y ontológicos que sostenga), o es posible determinar qué es el tiempo en física una vez que tengamos La Teoría Física Completa. Las líneas actuales de investigación en física teórica tienden a seguir esta última vía, pero cabe preguntarnos si esto es, acaso, posible. Escoja el lector su camino.

BIBLIOGRAFÍA

Boido, G. (1996). *Noticias del planeta Tierra: Galileo Galilei y la revolución científica*. Buenos Aires: A.Z Editora.

Einstein, A. (1985). *El significado de la Relatividad*. Barcelona: Editorial Planeta Agostini. (Versión original 1922).

Markosian, N, (2008). "Time". *Stanford Encyclopedia of Philosophy*: <http://plato.stanford.edu/entries/time/>

Newton, I. (1993) *Principios matemáticos de filosofía natural*. Barcelona: Ed. Altaya (Version original de la primera edición 1687).

Rynasiewicz, R. (2004). "Newton's Views on Space, Time, and Motion". *Stanford Encyclopedia of Philosophy*: <http://plato.stanford.edu/entries/newton-stm/>

Prigogine, I. (1983). *La nueva alianza*. Madrid: Ed. Alianza.

Wagensberg, J. (1992). *Proceso al azar*. Buenos Aires: Tusquets editores.