
EL PROBLEMA DEL TIEMPO EN LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL Y LA FILOSOFÍA DE KANT. ¿ES EL TIEMPO UN ENTE DEL MUNDO?

Dr. Gilberto Castrejón

gcastrejon@ipn.mx

Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas

Instituto Politécnico Nacional

Resumen

En este artículo tratamos el problema de la naturaleza del tiempo, de si éste es o no un ente existente. Así, es común la creencia de que la teoría de la relatividad constituye la teoría de la física que ha resuelto el problema mencionado. De esto, el trabajo de Kurt Gödel [1] representa un excelente punto de partida, en el contexto de la relatividad general, para especular si precisamente dicha teoría da una respuesta satisfactoria sobre la cuestión: ¿es el tiempo un ente del mundo? Cabe señalar que Gödel vinculó sus ideas con la filosofía de Immanuel Kant [2], autor que configuró una teoría propia sobre el espacio y el tiempo, donde éstos no pueden considerarse como “entes del mundo”. En este sentido, una vez tratado el bagaje conceptual de la Teoría de la Relatividad General (TRG), nos enfocamos en las ideas de Gödel, y posteriormente a ciertas críticas a éstas, concluyendo con la idea de que la teoría kantiana del tiempo posee cierta vigencia, frente a las consecuencias filosóficas que la TRG trae a colación ante el problema de la naturaleza del tiempo.

I. Introducción

El problema sobre la naturaleza del tiempo siempre ha presentado un sinnúmero de controversias. Quizá resulta ser mucho más robusto que el problema de la naturaleza del espacio, el cual generalmente gira en torno de la geometría. A este tenor, en la literatura científica y filosófica, tradicionalmente se considera a la Teoría de la Relatividad General (TRG) como la mejor teoría sobre el espacio y el tiempo. Sin embargo, fue Kurt Gödel quien al obtener ciertas soluciones a las ecuaciones de campo de Einstein, base matemática de la TRG, posibilitó especular sobre si realmente el tiempo es un “ente del mundo”, es decir, un ente objetivo, que existe independientemente de los objetos.

En el presente artículo, primeramente desarrollaremos las principales ideas relacionadas con la TRG; una vez hecho esto presentamos las ideas de Gödel; para posteriormente atender a diversas críticas que se han hecho a sus ideas; y finalmente, ubicar a éstas frente a la filosofía de Immanuel Kant, filósofo del siglo XVIII que configuró una teoría epistemológica, donde el espacio y el tiempo no pueden considerarse “entes del mundo”, y que, en ciertos aspectos, sigue vigente, aquí daremos a su vez nuestras conclusiones.

Así, para nuestro interés concreto, cabe aquí una simple cuestión:

- ¿La TRG contribuye a resolver el problema sobre la naturaleza del tiempo o sólo lo disipa más?

II. Conceptos básicos de la Teoría de la Relatividad General (TRG)

La TRG es considerada la mejor teoría sobre el espacio y el tiempo, y constituye la base de la cosmología moderna. En términos generales, se cree que dicha teoría ha contribuido a configurar una idea precisa sobre lo que son el espacio y el tiempo físicos, en términos de la entidad espaciotiempo. Existe una manera clásica de presentar el bagaje teórico de la teoría, en términos de las ecuaciones de campo, sin precisamente deducirlas, a diferencia de como Einstein lo llevó a cabo en su artículo de 1915. Esta teoría corresponde a una generalización de la relatividad especial (TRE), tal que no sólo es válida para sistemas inerciales, sino a su vez, para sistemas acelerados, a la vez de que introduce la idea de un espaciotiempo curvo.

Así, la TRG está fundamentalmente basada en los siguientes principios:²

(1) El espaciotiempo corresponde a una variedad riemanniana de dimensión 4 (M), esto es, una "variedad diferencial"⁴, cuya métrica, en forma general, se expresa por $ds^2 = \sum_{\mu, \nu} g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$. En dicha variedad está definida localmente una métrica lorentziana (la de la relatividad especial).

(2) Principio de equivalencia. Los campos gravitacionales son indistinguibles, es decir, no pueden distinguirse uno a otro de las fuerzas ficticias que aparecen en todo sistema de referencia acelerado. Sólo en sistemas localmente inerciales (como en los de la relatividad especial), por ejemplo los de caída libre, se cumplen las leyes de la física referidas a dichas fuerzas. La aceleración gravitacional depende únicamente del campo gravitacional, por algo, en la presencia de dichos campos, un cuerpo describe una geodésica, es decir, un campo gravitacional curva al espaciotiempo, y de ahí la trayectoria del cuerpo al moverse.

(3) Principio de covarianza. Las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas de referencia, ya sea inerciales o acelerados. Todos los sistemas de referencia son indistinguibles y equivalentes.

Una vez que se está familiarizado con tales principios básicos, y se acepta que el espaciotiempo de la relatividad general es un "espacio curvo", podremos remitirnos a las ecuaciones de campo, las cuales corresponden a un conjunto de diez ecuaciones en derivadas parciales no lineales, que en términos generales describen la gravedad como el resultado de la curvatura del espacio tiempo debido a la presencia de materia y energía, o del campo gravitacional. De forma compacta, puede presentarse a las ecuaciones de campo como [5]:

$$G_{\mu\nu} = 8\pi k T_{\mu\nu}$$

Curvatura del espaciotiempo = Densidad energética de materia

“Gravedad es geometría. La gravedad es la geometría del espaciotiempo cuatridimensional. Esta es la idea central de la teoría general de la relatividad de Einstein de 1915 —la clásica teoría relativista de la gravitación.” [6]. La afirmación anterior compacta mucho de lo que precisamente define a la TRG. Cabe señalar que en tal teoría, los efectos de la gravedad definen la curvatura del espaciotiempo, la variedad diferencial M . Dicha variedad constituye a su vez un espacio no euclidiano, con tres dimensiones del espacio, y una dimensión del tiempo. Así, basta decir que en la relatividad general, la presencia de materia curva el espaciotiempo, y la estructura geométrica de éste, al curvarse, hace que los cuerpos describan geodésicas en su movimiento. Para ponerlo en términos sencillos: un objeto masivo curva la dimensión del tiempo y las tres dimensiones del espacio, acorde a las ecuaciones de campo de Einstein.

III. Las ideas de Gödel

El tratamiento que Gödel [1] dio al problema del tiempo en el contexto de la TRG, está referido a unas soluciones que obtuvo de las ecuaciones de campo, por lo que a continuación trataremos, a grandes rasgos, los puntos importantes de los artículos de Gödel sobre el tema.

La TRG es la base de la cosmología moderna, y ciertas soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein son consideradas que representan la forma del universo. Así, dichas soluciones atienden a lo siguiente:

- “Principio cosmológico”: A gran escala, (1) el universo es espacialmente homogéneo, y (2) el universo es espacialmente isotrópico (el mismo para cualquier observador y en cualquier dirección).

En este sentido, en “Un ejemplo de un nuevo tipo de soluciones cosmológicas de las ecuaciones einstenianas del campo gravitatorio” [1], Gödel encuentra una solución de las ecuaciones de campo de Einstein donde se observa un espaciotiempo que no cumple completamente con el principio cosmológico, ya que el universo de Gödel es:

(1) Homogéneo

(2) Infinito

(3) Tiene una curvatura constante

(4) Es estacionario (no admite expansión)

(5) No da cuenta del desplazamiento hacia el rojo del espectro de la luz

- En tal universo: (1) cada punto del espacio-tiempo es un evento y ; (2) dos eventos A y B están unidos por un intervalo temporal $I(A,B)^2$.

Si $I(A,B) < 0$, tipo tiempo (no hay simultaneidad)

Si $I(A,B) > 0$, tipo espacio (no hay relación causal)

De lo anterior basta señalar, con Gödel, que:

T1: En el universo de Gödel son posibles las líneas de universo de tipo temporal, en donde A es anterior a B (pasado de B), mientras que en otra A es posterior a B (pertenece al futuro de B).

T2: A su vez, existen líneas cerradas de tiempo, por lo que puede concebirse que no existe un tiempo absoluto, un tiempo cósmico universal, a diferencia de lo que postulan ciertas soluciones de las ecuaciones de campo, basadas en el principio cosmológico.

Ahora bien, en su artículo: "Una observación sobre la relación entre la teoría de la relatividad y la filosofía idealista", Gödel obtiene las consecuencias filosóficas de su artículo "Un ejemplo de un nuevo tipo de soluciones cosmológicas de las ecuaciones einstenianas del campo gravitatorio", en el cual, basta señalar que:

* Gödel entiende por filosofía idealista, aquella que niega la realidad objetiva del tiempo, y por ende, la del cambio. Ejemplo: la filosofía de Kant.

* Retomando a Kant: "El tiempo no es un concepto discursivo, o como se suele decir [un concepto] universal, sino una forma pura de la intuición sensible." (KrV, <A32>), y asimismo: "El tiempo no transcurre, sino que en él transcurre la existencia de lo mudable. Al tiempo, entonces, que es, él mismo, inmutable y permanente, le corresponde en el fenómeno lo inmutable en la existencia, es decir, la substancia, y sólo en ella puede ser determinada según el tiempo, la sucesión y la simultaneidad de los fenómenos." [2] Como puede concluirse a partir de Kant: "el tiempo es no objetivo, es decir, no existe substancialmente, ni como una relación entre substancias."

Asimismo, en su artículo [1], Gödel parte del análisis de la simultaneidad en la relatividad especial, lo que para él implica una relatividad de la sucesión temporal. En su modelo, puede darse que si el suceso A es causalmente anterior a B, para un observador, para otro observador puede que sea lo contrario. Esto es, A y B no son simultáneos, e incluso no puede afirmarse que A ocurrió antes que B, desde la perspectiva de distintos observadores.

- En este sentido, el argumento de Gödel es que el cambio sólo es posible a través de lapsos de tiempo (estratos de "ahoras" que existen sucesivamente).

- Pero debido a la relatividad de la simultaneidad, no es posible entonces, establecer dichos lapsos de tiempo.

- Así, concluye, en primera instancia, que cada observador tiene su sistema de estratos de "ahoras", por lo que no es posible aceptar que exista un sistema de lapsos de tiempo privilegiado, en contradicción con los modelos que consideran un "tiempo cósmico universal", y en concordancia con las soluciones que él obtuvo de las ecuaciones de campo.

Asimismo, recordemos que en la TRG, debido a la presencia de materia, y a la curvatura del espacio-tiempo, se pueden obtener ciertas soluciones de las ecuaciones de Einstein, donde los

tiempos locales de todos los observadores concuerdan con un tiempo universal, como es común entenderlo en los textos sobre relatividad [5], pues debido a la concordancia de las soluciones a las ecuaciones de campo, no hay razones para abandonar dicha suposición. Aunque:

- Para Gödel, lo anterior no se sostiene debido a las distintas soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein, en especial las que él encontró, donde se muestra la posibilidad de universos rotatorios (estáticos y homogéneos).

- Asimismo, por lo ya dicho sobre la simultaneidad y los lapsos de tiempo, en su modelo no es posible definir un tiempo global para los distintos observadores locales (véase T1 y T2).

- Además, en los universos rotatorios es posible hacer un viaje de ida y vuelta, es decir, es posible viajar a cualquier región del pasado, presente y futuro, y volver al mismo punto. Sin embargo, esto puede conducir a absurdos lógicos.

Así, del conjunto de conjeturas anteriores, Gödel extrae las siguientes conclusiones:

- No hay razones suficientes para admitir un lapso de tiempo objetivo, principalmente por las consecuencias sobre la posibilidad de los universos rotatorios.

- Sin embargo, nuestro universo no puede llegar a representarse como el que se muestra en las soluciones del primer artículo de 1949, puesto que el universo en el que vivimos está en expansión, y hay corrimiento hacia el rojo. Aunque también hay soluciones para universos en expansión, y en éstos puede que tampoco exista un tiempo absoluto.

- Debido a la compatibilidad de las leyes de la naturaleza, para el caso de universos donde no se puede definir un tiempo absoluto, es posible traer a la luz ciertas consecuencias sobre los universos donde sí se puede definir un tiempo absoluto, pues implica establecer que un tiempo absoluto está transcurriendo, y que la existencia o no de un lapso de tiempo objetivo depende del modo particular en que tanto la materia y su movimiento están distribuidos en el universo. Así, el tiempo objetivo sería una "consecuencia contingente de la distribución fáctica de la materia en el universo."

Finalmente, Gödel asume una postura intermedia, pues considera que una concepción filosófica de este tipo puede resultar no del todo satisfactoria, sobre todo porque toda solución de las ecuaciones de campo de Einstein debe atender a consideraciones físicas plausibles.

IV. Críticas a las ideas de Gödel

Las conclusiones de Gödel, y su interpretación sobre la filosofía idealista, han sido objeto de ciertas críticas, sobre todo de aquellos que consideran que tanto en la TRE (Teoría de la Relatividad Especial) como en la TRG, sí se puede tener una idea objetiva del tiempo [8].

Nathan Oaklander [7], ubica a Gödel en la tradición de McTaggart [9], ya que le adjudica la concepción de que el tiempo es ideal, “una ilusión que no representa nada en la realidad objetiva.” Si bien, el autor lleva a cabo su crítica a través de la lectura de Pallé Yourgrau [10], en su libro *The Disappearance of Time*, sobre el trabajo de Gödel, Oaklander interpreta, primero, que Gödel sólo considera lo que se conoce como “A-Theories of Time”, tal que los eventos en el tiempo son ordenados en términos de pasado, presente y futuro (A-series, A-propiedades), lo que implica una “tensión temporal”, es decir, un “temporal becoming” (“devenir”). De lo anterior, según Oaklander, puede Gödel argumentar:

- (a) Si la relatividad es cierta (que todo indica que sí) y,
- (b) Como los universos de Gödel son posibles, entonces
- (c) La concepción en términos de “A-Theories of Times” resulta ser falsa (en concordancia con McTaggart por ejemplo), lo que lleva a concluir que,
- (d) El tiempo es una ilusión.

Sin embargo, y aquí radica el artificio de Oaklander contra Gödel y Yourgrau, para el autor, Gödel deja de lado las “B-Theories of Time”, según las cuales los eventos pueden ordenarse como en una red que distingue entre eventos anteriores, posteriores y simultáneos (B-series, B-propiedades). Le atribuye a Gödel que éste, al tomar en consideración sólo las “A-Theories of Time”, está “espacializando al tiempo”. La pregunta es: ¿acaso no tanto la TRE como la TRG lo hacen implícitamente, al postular la entidad espaciotiempo? A pesar de esto, para Oaklander no es el caso, porque dichas “B-Theories of Time” toman las series de tiempo como “genuinas posibilidades”, es decir, en la tradición de Bertrand Russell y C. D. Broad: “las relaciones temporales son primitivas e inanalizables”, y tal que las diferencias entre las relaciones temporales habrán de ser diferencias irreductibles, cualitativamente hablando. Si es así como menciona Oaklander, ¿cómo ordenamos los eventos temporales en cualquier teoría de la física, como eventos simultáneos, o que han sucedido antes, o después uno con respecto al otro, y cómo estamos a su vez seguros de que “tenemos una idea objetiva del tiempo?”, asimismo, ¿dónde quedan ciertas propiedades temporales como la causalidad, que precisamente permite establecer una diferenciación entre eventos, entre las relaciones temporales?, entonces, ¿la causalidad no tendría cabida en la TRE, en la TRG?

Cabe señalar que, físicamente hablando, se considera una línea temporal causal en la TRG [11], dado que esto permite establecer soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein, es decir, modelos de universos posibles. Si no fuera el caso: ¿cómo podría a su vez postularse un “tiempo cósmico universal”? Pero al hacerlo, y considerar a éste como objetivo, ¿no se está a su vez substancializando al tiempo, y por tanto, dotando de una individualidad a los “instantes de tiempo” (como en las “A-Theories of Time”)?, Asimismo, ¿cómo empalma esto con la idea defendida por los relacionistas de que el espaciotiempo es relacional (“B-Theories of Time”, para el caso específico del tiempo)? Finalmente, en una visión relacional del tiempo, si no hay

eventos ni cosas, ni nada en una relación, entonces: ¿existe el tiempo? Sea una respuesta afirmativa o negativa, si se aceptan los universos de Gödel sólo como posibles, se está negando la substancialidad del tiempo, a la vez de su naturaleza relacional, aunque, dada la supuesta concepción relacional del tiempo en la TRG, aceptada por muchos (la relacional), ¿no acaso debe negarse toda substancialidad del tiempo, independientemente de que sean o no posibles los universos de Gödel?

Hay otras críticas interesantes a las ideas de Gödel, como la llevada a cabo por R. T. W. Arthur [8] en su artículo "Time Lapse and the Degeneracy of Time: Gödel, Proper Time and Becoming in Relativity Theory", donde el autor acusa a Gödel de no haber distinguido entre el "tiempo propio" y el "tiempo coordinado". Según Arthur, al referirse Gödel al "tiempo propio de los observadores", está sólo considerando al tiempo coordinado, y deja a un lado el tiempo propio, el cual resulta ser objetivo y fundamental. Por lo tanto, ejemplificando la noción de tiempo propio, a partir de una versión de la paradoja de los gemelos en la TRE, el autor llega a la conclusión de que las ideas de Gödel, en cuanto a lo no objetividad del tiempo, no se sostienen.

El problema con la crítica de Arthur es que parece que equipara "observador" a "sujeto en un sistema de referencia", y de ahí interpreta la concepción que Gödel tiene de la filosofía kantiana. Físicamente, por ejemplo, un "observador" puede ser el reloj que se mueve por una línea de mundo y mide un tiempo, a diferencia de un sujeto colocado en un sistema de referencia inercial.

Si bien, Gödel habla de observadores y de marcos de referencia, su idea es coherente con la noción de algo así como "tiempo perceptivo", a la vez del tiempo en la TRE. El tiempo al que se refiere Arthur, es "el tiempo medido por un reloj en una línea de mundo", ¿si un observador (dígase el gemelo A) describiera dicha línea de mundo, su percepción temporal sería equivalente a la medida por un reloj que lo acompaña en su movimiento, y asimismo, la percepción temporal de otro observador (gemelo B) en reposo, sería equivalente a la medida por su propio reloj, es decir, ambas "percepciones temporales" serían las mismas? Si puede hablarse de "tiempo coordinado" y de "tiempo propio", ¿no se está, en un cierto sentido, quitando unicidad al tiempo? Es decir, se están postulando distintas nociones de tiempo.

En el presente trabajo tenemos la convicción de que las ideas de Gödel posibilitaron la tensión entre la substancialidad y la condición relacional del tiempo, con lo que puede sustentarse que el tiempo no es un ente del mundo, por tanto, no objetivo. De ahí la reivindicación de la concepción kantiana del tiempo.

Mauro Dorato [22] lleva a cabo una lectura de la situación tratada por Gödel en su artículo "Kant, Gödel and Relativity". El análisis de Dorato parte de una cuestión fundamental: ¿es el tiempo subjetivo, puramente ideal (trascendental en el sentido de Kant), o es parte del "mobiliario" del mundo físico, es decir, independiente de la mente? A primera vista, la respuesta a la cuestión podría parecer evidente, dado el poder explicativo de una teoría como la

relatividad. Sin embargo, el mismo Dorato ataca el problema planteando a su vez dos cuestiones, a las cuales una teoría de la física debería de responder:

- Si el tiempo fuera una no-entidad (en sentido físico), entonces, ¿cómo podríamos contar con un criterio de la realidad de las cosas y eventos?

- ¿Cómo podríamos explicar el hecho de que los objetos y eventos están separados en el espacio y el tiempo sin asumir que el tiempo es algo real?

Dorato afirma que para responder a ambas cuestiones no es necesario asumir que el tiempo es una propiedad del universo físico y a su vez independiente de la mente. Actualmente, en nuestra configuración epistémica (framework) sobre toda temática relacionada con el espacio y el tiempo, es común la creencia de que a partir de la TRG, lo que es “localizable” en el espaciotiempo es una condición suficiente para decir que algo existe, lo cual se convierte en un criterio de objetividad. Sin embargo, recordemos que en términos generales, la objetividad se “construye”, pues involucra distintos elementos epistemológicos; materiales (instrumentos de medida) y epistémicos (frameworks de las teorías). Con lo cual, para predicar la existencia de objetos, debe atenderse a las condiciones propias de objetividad.

Ahora bien, con respecto al tiempo, y en el contexto del artículo de Dorato, ¿puede decirse que la noción de tiempo postulada por la TRG, atiende al hecho de que las relaciones temporales, sean cuales sean éstas, son explícitamente representadas por los eventos físicos, independientemente de los observadores, estos últimos entendidos en el sentido de lo que es descrito coherentemente por nuestra experiencia? Si la respuesta es afirmativa, entonces conllevaría a afirmar a su vez que nuestra experiencia del tiempo es no objetiva, lo que estaría en concordancia con la idea de que la TRG niega la realidad física configurada por la física newtoniana. Pero, asimismo, como nuestras experiencias temporales permiten tener noción de series temporales tipo: pasado, presente y futuro (A-Theories of Time), y de las series de tipo: antes, simultáneo y después (B-Theories of Time), entonces: ¿cómo podemos ordenar los eventos en una flecha temporal, a su vez, causalmente?, ¿cómo es que podemos discriminar entre un tiempo coordinado, y un tiempo propio, entre un tiempo de los observadores, y un tiempo cósmico, y a su vez, postular que hay un tiempo objetivo, más allá de nuestra experiencia? Finalmente, ¿la idea de tiempo es algo que proviene de nuestras experiencias o es algo inherente a nuestra mente, en el sentido trascendental kantiano?

V. Conclusiones: Gödel y la filosofía kantiana

Aquí es posible retomar de nuevo a Gödel y reformular sus ideas: si el tiempo objetivo puede ser postulado en las teorías, en los modelos teóricos, y no puede éste estar referido a nuestra experiencia, a la experiencia de observadores en marcos inerciales, entonces debe decirse que “el tiempo subjetivo” no se refiere al mundo físico, como lo dejan ver la TRE y la TRG. Aunque, como ya se señaló, en tales teorías existen distintas nociones de tiempo; entonces, ¿realmente

el tiempo es algo independiente de la mente? Lo que a grandes rasgos señala Dorato, analizando algunos casos específicos de la noción de tiempo derivada de la TRE, y en relación con las especulaciones de Gödel, es que resulta curioso que las ideas de Kant sobre el tiempo parecen reivindicarse por la teoría de la relatividad, a diferencia de lo que algunos filósofos de la ciencia han creído.

Finalmente, aceptando que la representación de un evento, en términos de un “punto espaciotemporal”, representa una realidad, y las “líneas de mundo” (líneas temporales), un “cambio en el tiempo”, ¿cada punto espaciotemporal representa un instante de tiempo distinto y real?, ¿hay una noción clara del “ahora”, del presente, en la TRE [13]? Lo cual nos llevaría a indagar alrededor de la naturaleza del tiempo en términos metafísicos, de si sólo existe el presente (presentismo), o sólo el presente y futuro (posibilismo), o el conocido eternalismo. Para muchos, el eternalismo es la teoría sobre el tiempo que mejor se adapta a la TRG, configurada en lo que se conoce como “block universe”, que considera un espaciotiempo ya trazado, y las diferencias entre eventos, temporalmente hablando, sólo son diferencias de perspectiva ; a su vez, en dicha teoría no habría cabida para el cambio. Aunque tales indagaciones rebasan los alcances del presente trabajo.

Quizá, en términos kantianos, sea más factible decir que: “Si el tiempo es sólo una forma de percepción, si sólo se encuentra en los fenómenos, en las cosas para nosotros, si es sólo una variable de las ecuaciones de la física, entonces el tiempo circular de Gödel, el Eterno Retorno y las máquinas del tiempo no son conceptos contradictorios. No conducen a ninguna paradoja en el mundo de las cosas en sí, porque allí no fluye el tiempo.” [17]

Resulta más efectivo afirmar, parafraseando a Hao Wang [18], que el espacio-tiempo cuatridimensional es natural para el mundo físico, pero no resulta ser un “sistema coordinado natural para la mente”. Por tanto: el tiempo sólo es un marco natural de referencia, en el sentido ideal, por lo que a su vez, permite llevar a cabo un ordenamiento de fenómenos. Pero de nuevo: ¿es una substancia o una relación entre substancias?

Para Kant, el tiempo es no objetivo, es decir, no es un ente del mundo. El punto medular de la teoría kantiana del tiempo estriba en la idealidad del tiempo, la idea de que éste no es ni una substancia ni una relación entre substancias. No es que el tiempo “esté sobre las substancias, sobre los objetos”, ni que “sea algo que nosotros ponemos sobre éstos”. El tiempo sólo es la forma del sentido interno, que permite ordenar los fenómenos, un orden de presentación, tal que posibilita la presentación temporal de los particulares.

Todas las problemáticas implícitas que giran en torno a la naturaleza del tiempo, ya sea por vía científica (mecánica newtoniana, relatividad especial o general, termodinámica, mecánica cuántica), ya sea en su sentido metafísico (presentismo, posibilismo, eternalismo, etc.) dan un tratamiento del tiempo con distintos matices, entonces, ¿puede hablarse de una unicidad en el concepto de tiempo?

A la sazón de Kant, el tiempo no existe, y no existe porque no es un “objeto externo”. Si fuera un objeto, se podrían establecer condiciones para constituirlo, lo que nos llevaría a preguntarnos: ¿cómo se constituyen las condiciones para constituir una experiencia objetiva del tiempo cuando existen variadas teorías que dan cuenta de una experiencia temporal? Por lo que hemos visto, en el marco de la TRG: ¿se puede establecer una experiencia objetiva del tiempo? Si se afirma que nuestra experiencia común del tiempo no corresponde a la “experiencia objetiva”, entonces, kantianamente ¿se puede establecer una experiencia del tiempo propio, del tiempo cósmico? Si la respuesta para algunos es afirmativa, entonces dicha noción del tiempo debe estar bien determinada, y debe a su vez cumplir con el principio de identidad, pero: ¿por qué el tiempo no es una entidad cuya experiencia sea similar a la experiencia de cualquier otra entidad de la física?, ¿por qué la noción de tiempo no es una y la misma en mecánica clásica, en la TRE, en la TRG, en mecánica cuántica?

Cabe aquí una afirmación de Kant: “El tiempo no es algo que subsista por sí mismo, o que sea inherente a las cosas, como determinación objetiva, y que por tanto permanezca, si se hace abstracción de todas las condiciones subjetivas de la intuición de ellas; pues en el primer caso, aun sin objeto efectivamente real.” [2]

No conocemos qué es el tiempo, su esencia, sólo conocemos posibles determinaciones de éste. La TRG ha permitido configurar una idea, quizá más objetiva, del tiempo, pero no ha resuelto el problema sobre qué “es el tiempo”, sobre su naturaleza. El tiempo no es una entidad física, y la TRG quizá no es la teoría que da una respuesta completa sobre la naturaleza del tiempo. El tiempo es una “no-entidad”, pero sólo en su sentido físico. Entonces: ¿queda aún lugar para Kant?

Referencias

[1] Gödel, K., 1968/2006. Obras completas, Madrid: Alianza Editorial.

[2] Kant, I., 2009. Crítica de la razón pura (KrV), México: F.C.E.

[3] Einstein, A., 2005. Einstein. Obras esenciales, Barcelona: Crítica.

[4] Maudlin, T., 2014. Filosofía de la física I. El espacio y el tiempo, México: F.C.E.

[5] Wald, R., 1984. General Relativity, Chicago: University of Chicago Press.

[6] Hartle, J. B. (ed.), 2011. Gravitational Physics. Exploring the Structure of Space and Time, Washintong, D. C.: National Academy Press.

[7] Oaklander, L. N., 2004. The Ontology of Time, New York: Prometheus Books.

-
- [8] Arthur, R. T. W., 2008. "Time Lapse and the Degeneracy of Time: Gödel, Proper Time and Becoming in Relativity Theory", in Dennis Dieks (ed.) *The Ontology of Spacetime II*, The Netherlands: Elsevier, pp. 207-228.
- [9] McTaggart, J. E., 1908. *Mind: A Quarterly Review of Psychology and Philosophy* 17, pp. 456-473.
- [10] Yourgrau, P., 1991. *The Disappearance of Time*, Cambridge: Cambridge University Press.
- [11] Hawking, S., Ellis, G., 1973. *The Large-Scale Structure of Space-Time*, Cambridge: Cambridge University Press.
- [12] Dorato, M., 2002. "Kant, Gödel and Relativity", P. Gardenfors, K. Kijania-Placek and J. Wolenski (eds.), *Proceedings of the invited papers for the 11th International Congress of the Logic Methodology and Philosophy of Science*, Dordrecht: Synthese Library, Kluwer, pp. 329-346.
- [13] Stein, H., 1967. "Newtonian spacetime", *Texas Quarterly* 10, pp. 174-200.
- [14] Markosian, N., 2010. "Time", *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition, Available: <http://plato.stanford.edu/archives/win2010/entries/time/>.
- [15] Dainton, B., 2010. *Time and Space*, U. K.: McGill Queen's University Press.
- [16] Sklar, L., 1977. *Space, Time, and Spacetime*, Berkeley: University of California Press.
- [17] Hacyan, S., 2004. *Física y Metafísica del espacio y el tiempo*, México: F.C.E.
- [18] Wang, H., 1995. "Time in Philosophy and in Physics from Kant and Einstein to Gödel", *Synthese* 102(2), pp. 215-234.

¹Einstein dedujo tales ecuaciones a partir de consideraciones geométricas y físicas, por medio de la "desviación geodésica.

²De manera análoga, la relatividad especial se sustenta en dos principios: "1) la equivalencia de todos los marcos inerciales y 2) la constancia de la velocidad de la luz. Sobre la base de estos dos principios es posible derivar las transformaciones de Lorentz, un conjunto de ecuaciones que relacionan un conjunto de coordenadas con otro conjunto de coordenadas." [4]

³En términos generales, una variedad riemanniana corresponde a una generalización del espacio euclidiano, en la cual se generaliza la métrica, por ejemplo. Corresponde a una variedad diferenciable.

⁴Una variedad diferenciable es una variedad topológica (variedad de Riemann) tal que pueden extenderse sobre ésta las nociones del cálculo diferencial, ya definidas en espacios euclidianos.

En la variedad diferenciable pueden definirse funciones diferenciables, por ejemplo, a la vez de campos de tensores diferenciables.

⁵Algunos autores presentan esta parte de la teoría en términos de que “la presencia de materia-energía constriñe la estructura del espaciotiempo, por algo éste se curva”.

⁶Existe otra versión de las ecuaciones de campo que involucran lo que se conoce como “constante cosmológica”, sin embargo, independientemente de que si se considera dicha versión de las ecuaciones de campo, y las predicciones observables pueden cambiar, esto no afecta a la condición de objetividad, a la manera en que se llega a constituir un objeto, al tomar como marco teórico dicha versión de las ecuaciones de campo.

⁷En la TRE, se define el intervalo relativista invariante por $I(A,B)=[(T(A)-T(B))^2-(X(A)-X(B))^2-(Y(A)-Y(B))^2-(Z(A)-Z(B))^2]^{1/2}$, y en forma diferencial es $dI=(dT^2-dX^2-dY^2-dZ^2)^{1/2}$; para GTR, la forma diferencial se define como: $dI^2=\sum^{14} g_{\mu\nu}dx_{\mu}dx_{\nu}$ o $dI=(\sum^{14} g_{\mu\nu}dx_{\mu}dx_{\nu})^{1/2}$, puede ser también del lado izquierdo ds o ds^2 , como generalmente se usa en la notación. Ahora bien, un intervalo temporal, desde el origen de un sistema de coordenadas, en STR, y un evento A es tal que $I(A,0)=[(T(A)-T(0))^2-(X(A)-X(0))^2-(Y(A)-Y(0))^2-(Z(A)-Z(0))^2]^{1/2}$, es lo que se llama un “intervalo cero”, para todos los eventos (puntos) A, y es tal que $I(A,0)=0$; y habría que aclarar, como dice Maudlin [4]: “las distancias entre los puntos en un diagrama de espacio-tiempo no se corresponden de forma directa con los intervalos entre los eventos representados.”

⁸ L. Nathan Oaklander [7] señala que el problema del cambio enraza dos aspectos básicos: (1) por un lado el cambio requiere “similaridad”, igualdad (sameness), es decir, una cosa que cambia debe ser una y la misma antes y después del cambio, si no es así, tendríamos dos cosas con propiedades distintas; y (2) el cambio debe requerir diferencia (difference), es decir, si algo está cambiando, ese algo debe tener una propiedad y posteriormente una propiedad distinta e incompatible: una manzana cambia de verde a roja, pero ¿permanece siendo una y la misma cosa?, y a su vez, se debe introducir al tiempo.

⁹Habría que decir que con esta concepción, lo que se está haciendo es declarar que “existen entidades temporales intrínsecas”, con lo cual de nuevo nos conduce a una substancialización del tiempo.

¹⁰El “tiempo cósmico”, considerado objetivo.

¹¹Cabe aquí una precisión dada por Tim Maudlin [4] “En un cierto sentido es obvio que cualquier geometría del espacio-tiempo puede hacerse de manera que sea coherente con la ecuación de campo de Einstein. Tomamos una métrica arbitraria, calculamos el tensor de curvatura einsteiniano, y entonces usamos la ecuación de campo para definir el tensor de estrés-energía. Así que cuando juzgamos que algunas geometrías “no son físicas” nos basamos en que consideramos que algunos tensores de estrés-energía no son físicos. Una condición estándar, la llamada condición de energía débil, esencialmente exige que en los marcos de Lorentz locales la densidad de la energía local no sea negativa... Por lo tanto, el intento de encontrar un

escenario físico plausible para la formación de curvas cerradas de tipo tiempo significa encontrar una que satisfaga condiciones de energía razonables, que dé como resultado una solución estable y que no involucre curvas cerradas de tipo tiempo que ya se encuentren en las condiciones iniciales.” La cuestión aquí sería: ¿las soluciones de Gödel cumplen con las condiciones especificadas por Maudlin?

¹²McTaggart distingue entre series A y series B del tiempo, de tal forma que: “For the sake of brevity I shall speak of the series of positions running from the far past through the near past to the present, and the from the present to the near future and the far future, as the A series. The series of positions which runs from earlier to later I shall call the B series.”

¹³El problema del “becoming” ha llegado a ser muy robusto en la literatura sobre la naturaleza del tiempo, está obviamente asociado al problema del cambio.

¹⁴Oaklander da una cita de Broad donde éste define lo que entiende por “relación temporal: “Temporal characteristics are among the most fundamental in the objects of our experience, and therefore cannot be defined. We must start by admitting that we can in certain cases judge that one experienced event is later than another, in the same immediate way as we can judge that one seen object is to the right of another... On these relations of before and after, which we immediately recognize, all further knowledge of time is built.” (cit. en [7]), lo curioso de esta concepción es que, si las relaciones temporales son primitivas e inalcanzables, y sólo poseemos experiencias que nos permiten juzgar en términos de antes y después, por ejemplo, ¿cómo entonces es que podemos asimismo juzgar sobre un “tiempo objetivo” en nuestras teorías físicas?

¹⁵Stephen Hawking y George Ellis en su libro *The Large-Scale Structure of Space-Time* [Cambridge University Press, Cambridge, 1973] afirman: “That space-time satisfies what we shall call the chronology condition: namely, that there are no closed timelike curves.” Lo que en términos generales implica una condición de causalidad en la dirección del tiempo, puesto que como los mismos autores mencionan más adelante: “In physically realistic solutions (de las ecuaciones de campo), the causality and chronology conditions are equivalent.”

¹⁶Una concepción relacional del espaciotiempo, entiende a éste como “producto” de las relaciones de los objetos; en el contexto de la TRG, la estructura del espaciotiempo se define en términos de la distribución de la materia. Existen muchas controversias con respecto a ésta y la concepción substancialista del espaciotiempo, tratar dichas controversias rebasa los alcances del presente trabajo.

¹⁷El autor menciona que la noción de tiempo propio fue introducida por Minkowski, en su famoso artículo de 1908: “If at any point $P(x,y,z,t)$ in spacetime we imagine a worldline running through that point, the magnitude corresponding to the timelike vector dx, dy, dz, dt laid off along the line is

$$d\tau = [c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2]^{1/2} / c$$

Proper time is now defined as the integral of this quantity along the worldline in question. Introducing the concept, Minkowski wrote: 'The integral $\tau = \int d\tau$ on this quantity, taken along the worldline from any fixed starting point P_0 to the variable endpoint P , we call the proper time of the substantial point at P .'

¹⁸[8] Cfr. "The problem with Gödel formulation, as I hope should be clear by this juncture, is that it fails to appreciate the degeneracy of time: time lapse is not represented in relativity theory by the time co-ordinate function, but by proper time." [8]

²⁰Para todas estas temáticas puede verse [14], [15], [16].