

LA CONCEPCIÓN DEL TIEMPO EN EL REALISMO ESTRUCTURAL

Gilberto Castrejón¹

Resumen

El artículo configura una concepción del tiempo en la relatividad general (RG), desde una variante de realismo estructural, la cual concibe que las estructuras y los objetos ocupan el mismo estatus ontológico. Dicha variante considera que la ontología de la RG es sobre eventos y procesos, y los puntos espacio-temporales, que representan a los objetos, adquieren su identidad, de carácter relacional, por la posición que ocupan en la estructura. Así, el tiempo es “algo” externo a los objetos, y a su vez, éstos solo poseen partes espaciales, con lo que la concepción estructuralista del tiempo se acerca al presentismo y al tridimensionalismo (3D). La conclusión es que dicha visión estructuralista del tiempo parece asumir un compromiso con estos últimos, en contraposición con lo que aquí denomino, una ontología ortodoxa de la RG, cuya ontología es sobre entidades tetradimensionales (4D), a la vez de ser compatible con el eternalismo.

Palabras clave: realismo estructural; metafísica del tiempo; relatividad general; ontología.

¹ Doctor en Filosofía de la Ciencia. Profesor-investigador en el Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Legaria, Instituto Politécnico Nacional, Cd. de México, México. Contacto: gcastrejon@ipn.mx

THE CONCEPTION OF TIME IN STRUCTURAL REALISM

Gilberto Castrejón²

Abstract

The article configures a conception of time in general relativity (GR), from a variant of structural realism, which conceives that structures and objects occupy the same ontological status. This variant considers that the GR ontology is about events and processes, and the spatio-temporal points, which represent the objects, acquire their identity, of a relational nature, due to the position they occupy in the structure. Thus, time is “something” external to the objects, and in turn, they only have spatial parts, which brings the structuralist conception of time closer to presentism and three-dimensionalism (3D). The conclusion is that this structuralist vision of time seems to assume a commitment to the latter, in contrast to what we call here, an orthodox ontology of the GR, whose ontology is about four-dimensional (4D) entities, while being compatible with the eternalism.

Keywords: structural realism; metaphysics of time; general relativity; ontology.

1. Introducción

En el contexto de la metafísica de la ciencia -la disciplina que trata de dar cuenta acerca de “lo que hay”, a partir de la realidad que configuran las teorías científicas más exitosas- el problema sobre la naturaleza del tiempo toma actualmente como base a la ontología que la relatividad general (RG) configura. En este sentido, el debate clásico entre *substancialistas* y relacionistas sobre

² PhD in Philosophy of Science. Professor in Research Center for Applied Science and Advanced Technology, Legaria Unit, National Polytechnic Institute, México City, México. Contact: gcastrejon@ipn.mx

el tiempo³, ha tomado nuevos cauces. Para la concepción substancialista, el tiempo es una especie de *substancia* que “fluye” del pasado hacia el futuro, pasando por el presente, por lo que los objetos “están en el tiempo”, se extienden en el flujo de los “ahoras”, y observamos que cambian porque tales objetos están sujetos a la dinámica temporal de dichos “ahoras” (A-series temporales); lo cual fundamenta una concepción metafísica del tiempo llamada presentismo, en el que sólo las cosas presentes existen y, además, se deriva la idea de que “el tiempo es algo externo a los objetos”. A su vez, desde la concepción relacional del tiempo, este no existe, y las diferencias temporales solo son diferencias de perspectiva (B-series temporales), con lo que la idea de un flujo temporal deja de tener sentido, fundamentando la idea metafísica del tiempo llamada eternalismo, en la que pasado, presente y futuro poseen el mismo estatus ontológico, y a su vez, solo hay materia y campos⁴.

Ahora bien, actualmente existe una postura realista muy fructífera llamada realismo estructural (RE), dicho realismo postula que, ontológicamente hablando, la primacía la tienen las estructuras, y a partir de aquí, configura su propia interpretación acerca de la ontología de la RG, pues, por ejemplo, en una de sus variantes denominada Realismo Estructural Óntico (REO), este considera que: “la insistencia en interpretar el espaciotiempo en términos de una ontología de entidades subyacentes y sus propiedades, es lo que causa los problemas del realismo sobre el espaciotiempo”⁵; por algo el RE, en cualquiera de sus variantes, entiende al espaciotiempo como una estructura relacional, tal que la ontología de la RG sería de eventos y procesos, y no de objetos, campos y espaciotiempo como substancias con propiedades intrínsecas. De todo esto, a mi modo de ver, puede plantearse una legítima pregunta:

³ Ver Markosian, N., “Time”, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition, 2010.

⁴ Cfr. Montesinos, M., “El problema del tiempo en la relatividad general”. *Revista Mexicana de Física S* 52 (2) (2007); Rovelli, Carlo, “The Disappearance of Space and Time”. In *The Ontology of Spacetime*, 1st ed. Ed. by Dennis Dieks, Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2006.

⁵ Ladyman, J, y Ross, D. *et al.*, *Every Thing Must Go. Metaphysics Naturalized*, New York: Oxford University Press, 2007, p. 143.

¿qué tiene que decirnos el RE, acerca del problema de la naturaleza del tiempo, en el contexto de la RG?

En el artículo, pretendo configurar, en primera instancia, una concepción estructuralista del tiempo en el contexto de la RG, a partir de una variante de RE⁶, que toma como base la idea de que la mejor forma de entender ontológicamente a la RG, no es interpretarla como una teoría que habla sobre materia, campos y espaciotiempo como sustancias tetradimensionales, sino que la ontología de esta es acerca de eventos y procesos, en la que el espaciotiempo corresponde a una estructura relacional, además de que los puntos espaciotemporales no tendrían propiedades intrínsecas, y donde a su vez, los objetos son representados por las relaciones de los puntos, y adquieren su “identidad” por la posición que ocupan en la estructura. Cabe señalar que dicha ontología tiene cierta compatibilidad con la visión substancialista del tiempo, la cual a su vez está vinculada al llamado tridimensionalismo (3D) sobre los objetos, en donde un objeto sería “una sustancia tridimensional”, y el tiempo, “algo externo a este”; y a su vez, surge la idea de que los objetos “duran”, con lo que parece haber cierta compatibilidad entre el presentismo y el 3D, en la concepción del tiempo de dicha variante. En este sentido, dado que, en la literatura sobre el RE, escasamente hay menciones hacia el problema del tiempo, sobre todo, por cómo consideran a la ontología de la RG, un punto a señalar es que la visión estructuralista del tiempo parece mantener un compromiso con el 3D, lo que abriría la puerta a un presentismo, a la vez de una concepción del tiempo como algo que “fluye”.

En segundo término, presento algunos problemas a dicha visión estructuralista del tiempo, los cuales, a mi entender, tienen que ver principalmente con el debate entre el tridimensionalismo (3D) y el tetradimensionalismo (4D), el problema metafísico de si el tiempo es externo a los objetos o éstos poseen partes temporales. Asimismo, desarrollo argumentos sobre la idea del tiempo en lo que llamo, una “ontología ortodoxa de la RG”, frente a la visión estructuralista del tiempo. El punto medular es que, tanto por consideraciones

⁶ Ver Esfeld, M. y Lam, V., “Moderate structural realism about spacetime”, *Synthese* 160 (2008).

experimentales, como metafísicas, la visión estructuralista del tiempo es factible, si el 3D y el presentismo fueran verdaderos, en el contexto de la RG, aunque más bien, las consideraciones mencionadas llevan a aceptar una ontología 4D y el eternalismo.

Finalmente, en la sección 4, daré mis conclusiones.

2. El tiempo en RG y el realismo estructural

En términos generales, la tesis principal del realismo estructural (RE) considera que las estructuras corresponden a las entidades fundamentales del mundo, y que son factibles de conocerse⁷ por medio de las teorías de la ciencia; y se nutre sobre todo del éxito de la física moderna⁸. De este, pueden considerarse las siguientes variantes, a saber: 1) Realismo Estructural Epistémico (REE), el cual considera que sólo podemos conocer las estructuras, siendo inaccesibles las propiedades intrínsecas de los objetos⁹; 2) Realismo Estructural Moderado (REM), para el cual los objetos y las estructuras están en el mismo estatus ontológico¹⁰ y; 3) Realismo Estructural Óntico (REO), también de carácter metafísico, da prioridad a las estructuras como los

⁷ Worrall, J., “Structural Realism: The Best of Both Worlds”, *Dialectica* 43 (1989); Ladyman, J., “What is structural realism?” *Studies in History and Philosophy of Science* 29 (1998); Psillos, S., “Is structural realism posible?” *Philosophy of Science* 68 (2001).

⁸ Ladyman, J. y Ross, D. *et al.*, *Every Thing Must Go. Metaphysics Naturalized*, New York: Oxford University Press, 2007; French, S., *The structure of the world: Metaphysics and representation*, 1st ed., New York: Oxford University Press, 2014; Dorato, M., “Is Structural Spacetime Realism Relationism in Disguise?” *The Supererogatory Nature of the substantivalism/Relationism Debate*. *The Ontology of Spacetime II*, Ed. Dennis Dieks, The Netherlands: Elsevier, 2006; Castrejón, G., “Sobre el estatus ontológico del espaciotiempo. Una respuesta al realismo estructural”, *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* Núm. 19.39 (2019a).

⁹ Worrall, J., “Structural Realism: The Best of Both Worlds”, *Dialectica* 43 (1989).

¹⁰ Esfeld, M. y Lam, V., “Moderate structural realism about spacetime”, *Synthese* 160 (2008); Lam, V. y Esfeld, M., “The structural metaphysics of quantum theory and general relativity”, *Journal for General Philosophy of Science* 43 (2012).

componentes básicos, lo único que hay¹¹. Así, dado que el REM considera a los objetos y a las estructuras¹² en el mismo estatus ontológico, la interpretación que hace de la RG plantea, por un lado, que resulta dudosa la formulación estándar, en términos geométricos, en la que se define un campo gravitacional $g_{\mu\nu}$ sobre un conjunto de puntos que conforman la variedad diferenciable M , siendo esta última el espaciotiempo; y por otro lado, no considera a M y $g_{\mu\nu}$ por separado, sino que juntos representan al espaciotiempo, en atención a ciertas interpretaciones de la RG¹³.

Ahora bien, tomando como base una “explicación de la gravedad, con relación a la curvatura del espaciotiempo”, la RG está basada en los siguientes principios¹⁴:

- (1) El espaciotiempo físico es un espacio de Riemann, una variedad riemanniana M de dimensión 4, esto es, una “variedad diferenciable”, definida por una métrica, que en forma general se expresa por $ds^2 = \sum_I^4 g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$, y cuya curvatura se debe al campo gravitacional. En cada punto de dicho espacio se puede generar un espacio tangente, el espacio de Minkowski, en ausencia de campos gravitacionales.

¹¹ Ladyman, J., “What is structural realism?” *Studies in History and Philosophy of Science* 29 (1998); Ladyman, J., Ross, D. et al., *Every Thing Must Go. Metaphysics Naturalized*, New York: Oxford University Press, 2007.

¹² En general, el realismo estructural concibe que las estructuras son elementos fundamentales, y poseen un carácter físico, dado que representan “patrones reales”, es decir, relaciones entre los objetos. Como ya se señaló, para el REM, a diferencia del REO, objetos y estructuras ocupan el mismo estatus ontológico.

¹³ Hofer, C., “The Metaphysics of Spacetime Substantivalism”, *Journal of Philosophy* 93 (1996); Rynasiewicz, R., “Absolute versus Relational Space-Time: An Outmoded Debate?” *Journal of Philosophy* 93 (6) (1996).

¹⁴ Wald, R. M., *General Relativity*, Chicago: The University of Chicago Press, 1984; Hacyan, S., *Relatividad para estudiantes de física*. 1st ed. Cd. De México: F.C.E., 2013; Castrejón, G., “Acerca del realismo sobre el espaciotiempo”, *Scientia in verba Magazine* 6 (2020).

Asimismo, una partícula en caída libre se mueve por una geodésica a lo largo del espacio riemanniano.

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

Cabe señalar que, en la RG, “la geometría se vuelve dinámica, la gravedad curva al espaciotiempo y la trayectoria de una partícula es equivalente a una curva geodésica”¹⁵. Asimismo, la base matemática de la RG está dada por las ecuaciones de campo de Einstein, las cuales conforman un conjunto de diez ecuaciones en derivadas parciales no lineales, y describen la gravedad como el resultado de la curvatura del espaciotiempo debido a la presencia de materia y energía, o del campo gravitacional. Las ecuaciones de campo, en forma compacta, son¹⁶:

$$R_{\mu\nu} - (1/2)g_{\mu\nu}R = (8\pi G/c^4)T_{\mu\nu}.$$

$R_{\mu\nu}$: Tensor de Ricci.

$g_{\mu\nu}$: Tensor métrico ($ds^2 = \sum_{\mu, \nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx_\mu dx_\nu$).

$T_{\mu\nu}$: Tensor energía-momento.

G : Constante gravitatoria.

R : Curvatura escalar.

c : Velocidad de la luz.

$\mu, \nu=0, 1, 2, 3$.

¹⁵ Hacyan, S., *Relatividad para estudiantes de física*. 1st ed. Cd. De México: F.C.E., 2013, p. 150.

¹⁶ Castrejón, G., “Acerca del realismo sobre el espaciotiempo”, *Scientia in verba Magazine* 6 (2020).

- (1) El Tensor de curvatura de Ricci es una magnitud tensorial, con 10 componentes, combinación de las componentes del tensor de Riemann, este último está conformado, en un espacio de 4 dimensiones, por 20 componentes linealmente independientes. A su vez, el tensor de Riemann determina la estructura del espaciotiempo.
- (2) R es la curvatura escalar. Corresponde a la traza invariante de la curvatura de Ricci, con respecto a una métrica específica.
- (3) $T_{\mu\nu}$ es el tensor de energía-momento, el cual contiene la información de la presencia, densidad y distribución de la energía y materia en cada punto del espaciotiempo (M).
- (4) El tensor métrico $g_{\mu\nu}$, asociado a la métrica, precisamente define la estructura del “campo gravitacional” (es muy común en la literatura sobre la RG asociar tal tensor métrico a las propiedades de un campo gravitacional), es decir, contiene la información correspondiente a cada punto del espaciotiempo (M).

En la RG, los efectos de la gravedad definen la curvatura del espaciotiempo, la variedad diferenciable M . Dicha variedad constituye a su vez un espacio no euclidiano, con tres dimensiones del espacio y una dimensión del tiempo.

Así, puede considerarse que, en la RG, los objetos básicos, los cuales podrían representar objetos físicos, corresponden a la variedad diferenciable M (espaciotiempo curvo), el campo gravitacional $g_{\mu\nu}$ y el tensor energía-momento $T_{\mu\nu}$ (contenido de materia), a la vez de los puntos espaciotemporales. Ontológicamente, tales objetos serían entidades tetradimensionales, en lo que podría denominarse, una ontología ortodoxa de la RG.

En el contexto anterior, para el REM, el espaciotiempo corresponde a una estructura relacional, donde los puntos espacio-temporales no poseen propiedades intrínsecas, a la vez de que los objetos son representados por las relaciones, y éstos adquieren su “identidad” de acuerdo con la posición que ocupan en la estructura. Esto es, *los puntos espacio-temporales cumplirían la función de los objetos*, y a la vez, dichos puntos (objetos) carecen de propiedades intrínsecas, pues solo existirían las relaciones en las que éstos se

encuentran. Asimismo, es pertinente señalar que no existe una explicación del REM, respecto al carácter temporal de los objetos, lo cual implicaría, en cierto sentido, que la identidad temporal de éstos, la adquieren respecto a la relación que establecen con otros objetos, es decir, “dicha identidad sería relacional y externa”.

Para el REM, interpretar a la RG como una teoría sobre “un mosaico de puntos con propiedades intrínsecas”¹⁷, no resulta ser una interpretación consistente con la ontología propia de dicha teoría. De aquí que toma como base a ciertas interpretaciones¹⁸ de la RG que consideran la “función” del campo métrico $g_{\mu\nu}$, como el que dota de identidad estructural a los puntos espacio-temporales, ya que se debe considerar un substancialismo de la variedad más el campo métrico $M + g_{\mu\nu}$, dado que la variedad M no es suficiente para distinguir entre direcciones espaciales y temporales, pues esta sólo es una estructura topológica sin propiedades geométricas esenciales, por lo que no es suficiente para entender el concepto de espaciotiempo, y a su vez, propiedades como identificar relaciones: “antes de”, “simultáneo a” y “después de”¹⁹. Es decir, las relaciones métricas, dotadas por $g_{\mu\nu}$, son las propiedades básicas de los puntos.

En resumen, nuestra afirmación es esta: la formulación geométrica estándar de la RG en términos de un campo $g_{\mu\nu}$ definido sobre un conjunto de puntos M puede ser

¹⁷ Esfeld, M. y Lam, V., “Moderate structural realism about spacetime”, *Synthese* 160 (2008).

¹⁸ Hofer, C., “The Metaphysics of Spacetime Substantivalism”, *Journal of Philosophy* 93 (1996).

¹⁹ Romero, G. E., “The ontology of General Relativity”. In *General Relativity and Gravitation*. Novello, M., Pérez Bergliaffa, S.E., Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2013; Stachel, J., “The Meaning of General Covariance”. In *Philosophical Problems of the Internal and External Worlds: Essays of the Philosophy of Adolf Grünbaum*. Earman, J., et al., Eds. 129-162. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 1993; Brighouse, C., “Spacetime and holes”. In *Proceedings of the 1994 biennial meeting of the Philosophy of Science Association*. Volume 1. Philosophy of Science Association, East Lansing, 1994.

ontológicamente engañosa. La división entre M y $g_{\mu\nu}$ es una representación, en contraste con una división ontológica (de lo contrario, uno se encuentra con los problemas de tipo agujero). M y $g_{\mu\nu}$ por separado no representan entidades ontológicas distintas. Juntos representan el espaciotiempo y el campo gravitacional como una red de relaciones físicas²⁰.

Por lo anterior, las relaciones métricas, dotadas por $g_{\mu\nu}$, son las propiedades básicas de los puntos. En este sentido, la siguiente cuestión resulta legítima, ¿las propiedades espaciales y temporales de los puntos, y por transitividad, de los objetos, no serían intrínsecas, sino relacionales? El REM concibe estructuralmente a la métrica, además de que los puntos espacio-temporales son discernibles, de acuerdo con las relaciones en las que éstos se encuentran. “Las propiedades, incluidas las relaciones, son las formas (modos) en que éstos se encuentran los objetos. No existe una distinción ontológica entre los objetos y sus formas de ser, sino solo conceptual”²¹. De todo esto, puede verse que la ontología que sobre la RG configura el REM, entiende que ciertas relaciones son los modos de ser de los objetos, por lo que dichos objetos no poseen otra identidad más que las relaciones en que se encuentran. Por lo anterior, puede considerarse que la existencia de los objetos, además de sus propiedades e identidad, están definidos a partir de la estructura a la que éstos pertenecen.

Así, la ontología ortodoxa de la RG²², es sustituida por el REM, por una ontología de estructuras y objetos, en la que estos últimos no poseen propiedades intrínsecas, sino solo poseen propiedades relacionales (extrínsecas).

²⁰ Lam, V. y Esfeld, M., “The structural metaphysics of quantum theory and general relativity”, *Journal for General Philosophy of Science* 43 (2012), p. 250.

²¹ *Íbidem*, p. 255.

²² Como ya se vio anteriormente, en la ontología ortodoxa de la RG, hay espaciotiempo, campos y materia, a la vez de que la materia y los campos son ontológicamente distintos al espaciotiempo y, asimismo, configuran una ontología tetradimensional.

Además, si dichos objetos corresponden a cierto tipo de sustancia, estos serían tridimensionales. A saber:

En metafísica no se puede prescindir de acontecimientos y procesos. Incluso si fuera posible concebir todos los acontecimientos como consistentes en cambios de las propiedades de las sustancias, habría un dualismo de sustancias y acontecimientos en cuanto cambios en las propiedades de las sustancias. Sin embargo, es posible prescindir de sustancias y reconocer únicamente eventos y procesos²³. (Existe una ambigüedad en la noción de sustancia: si uno considera los puntos espacio-temporales como sustancias, no son sustancias en el sentido de sustancias duraderas, sino entidades de cuatro dimensiones que no tienen partes espaciales ni temporales; no están en el espacio y el tiempo, pero son los que componen el espacio-tiempo)²⁴.

En la cita anterior, lo que importa es la idea de que al pasar del “escenario” tridimensional -donde los objetos son, a su vez, sustancias tridimensionales-, al “escenario” tetradimensional, como el de la RG, ya no es necesario considerar que habría una “sustancia tetradimensional”. En este último caso, tanto la localización como el movimiento de un objeto en el “escenario” tetradimensional, se haría a través de los puntos espaciotemporales, que solo representan a los objetos. Asimismo, para el REM, en la ontología tetradimensional como la de la RG, es innecesario concebir la identidad de los objetos como “sustancias en el tiempo”, más bien: “La identidad de cualquier objeto físico en el tiempo se explica por el hecho de que el objeto es un proceso cuyas partes temporales forman una secuencia continua, exhibiendo propiedades físicas similares”²⁵.

De esta manera, la idea del tiempo que el REM concibe, en el contexto de la RG, parece considerar que:

²³ El resaltado es mío.

²⁴ Esfeld, M., “Metaphysics of science between metaphysics and science”, *Grazer Philosophische Studien* 74, (2007), p. 6.

²⁵ *Ibidem*.

1. En la RG no puede hablarse de substancias en el sentido de la ontología ortodoxa, pues una substancia es una entidad tridimensional, la cual persiste en su conjunto por cierto tiempo. Cabe señalar que, en cierto sentido, este tipo de posturas acerca de la ontología de la RG, suelen denominarse “separatismo”²⁶, que entiende al espacio y al tiempo como entidades separadas.
2. Asimismo, la línea argumentativa sobre los objetos físicos (la materia), se reduce a considerar que la materia fundamenta el carácter estructural de los campos, en especial el campo gravitacional, por lo que la estructura dota de identidad a los objetos, a los puntos espaciotemporales, en términos de las relaciones que estos poseen.
3. Lo que hay en la ontología de la RG son eventos y procesos, que representan a los objetos (substancias que no tienen partes temporales), y que corresponden a ciertas propiedades físicas instanciadas por los puntos espacio-temporales. Hay que mencionar que una postura que entraría en disputa con esta concepción es el llamado *Supersubstantivalismo*, la idea de que “para cada objeto material O, existe una región espacio-temporal R tal que $O = R$ ”²⁷. En este sentido, la interpretación del REM resulta no ser compatible con el 4D y el eternalismo.
4. Finalmente, puede resumirse: “Las secuencias continuas de eventos son procesos. Los procesos tienen partes tanto espaciales como temporales. Las entidades de cuatro dimensiones, como los procesos, se conciben comúnmente como perdurantes, puesto que persisten al tener partes tanto espaciales como temporales, mientras que las entidades tridimensionales, como las sustancias, se conciben como

²⁶ Skow, B., *Objective Becoming*. 1st ed. Oxford, UK: Oxford University Press, 2015, p. 4-10.

²⁷ Gilmore, C. *et al.*, “Relativity and Three Four-Dimensionalisms”. *Philosophy Compass* 11(2) (2016), p. 113.

duraderas, ya que persisten como un todo durante un cierto tiempo y no tienen partes temporales”²⁸.

De acuerdo con lo anterior, puede entenderse porqué el REM declara que espaciotiempo (estructura) y objetos (materia) ocupan el mismo estatus ontológico, y sus diferencias solo son conceptuales. Además, en su idea sobre el tiempo, este es externo a los objetos (substancias), ya que estos últimos son entidades tridimensionales, y al pasar de la ontología tridimensional a la tetradimensional, como la de la RG, ya no se trata de objetos como “entidades materiales”, en cambio, estos últimos son representados por los puntos espaciotemporales, que definen eventos, y en donde, un cambio en el tiempo es una secuencia de eventos: un proceso.

Ahora bien, la idea del tiempo, desde esta variante de RE, resulta compatible con la concepción que ciertos estructuralistas tienen acerca del carácter modal (causal) de las estructuras²⁹, con lo que daría pauta a establecer un compromiso con la idea de un tiempo cósmico que “fluye”.

Lo anterior tiene sentido dado que la RG es la base de la cosmología moderna, y ciertas soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein son consideradas que representan la forma del universo³⁰, ya que dichas soluciones atienden a lo siguiente:

²⁸ Esfeld, M., “Metaphysics of science between metaphysics and science”, *Grazer Philosophische Studien* 74, (2007), p. 6.

²⁹ Borge, B., “Realismo estructural óntico y estructuras físicas”. *Revista Internacional de Filosofía Campinas* 4(2) (2017).

³⁰ Will, C. M., *Theory and Experiment in Gravitational Physics*. New York: Cambridge University Press, 1993; Castrejón, G., “Acerca del realismo sobre el espaciotiempo”, *Scientia in verba Magazine* 6 (2020).

- “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).

Asimismo, un universo posible, a partir de la solución de las ecuaciones de campo de Einstein, considera que hay un “tiempo cósmico que fluye”, con lo que existe cierta compatibilidad con la visión estructuralista del tiempo.

Finalmente, los puntos 1-4 compactan la idea del tiempo en el REM, la cual es extensiva, con ciertos matices, al REO. Un punto que puede identificarse, es su compromiso con el 3D y el presentismo, pues en términos concretos, para el REM, un objeto es “una sustancia tridimensional”, y el tiempo, “algo externo a este”. De aquí, en su ontología de estructuras, eventos y procesos en la RG, el movimiento de un objeto es representado por los procesos, y su localización como un evento, con lo que la estructura espaciotiempo sería la entidad básica. Aunque cabe señalar también que, en esta ontología, surge la idea de que el espacio y el tiempo son entidades independientes, es decir:

El espacio y el tiempo son entidades separadas en el sentido de que no comparten partes. El espacio está enteramente formado de puntos espaciales, que son todos simples (no tienen partes propias, ni partes aparte de ellos mismos). El tiempo está enteramente hecho de instantes, que también son simples. Y ningún punto espacial es un instante. Cada punto espacial está ubicado en cada instante de tiempo, pero ningún punto espacial comparte partes con ningún instante”³¹.

La idea anterior es compatible con la concepción estructuralista del tiempo en el REM, que implica un cierto compromiso con el 3D y el presentismo: entender al tiempo desde la visión estructuralista, es concebirlo como una especie de sustancia que “fluye” (A-series, A-teorías del tiempo), todo

³¹ Gilmore, C. *et al.*, “Relativity and Three Four-Dimensionalisms”. *Philosophy Compass* 11(2) (2016), p. 102.

lo cual implica no estar en concordancia con lo que he denominado, una ontología ortodoxa de la RG, pues, en general, la visión estructuralista del tiempo se sostendría, si es que precisamente el 3D y el presentismo fueran ciertos, en el contexto de la RG. En la siguiente sección trataré algunos de los inconvenientes que surgen de esto.

3. Algunos problemas acerca de la visión estructuralista del tiempo

Configurar una ontología temporal consistente de la RG, desde la metafísica de la ciencia, implica atender a los aspectos empíricos de tal teoría, por lo que si queremos indagar cómo es que los objetos físicos poseen identidad temporal, la mejor manera de obtener una posible solución a este problema, sería atender a aspectos empíricos de dichas teorías. Así, ¿la RG ofrece razones de carácter empírico, para suponer que la ontología temporal de los objetos físicos es precisamente la que dicha teoría arroja? Atender a la cuestión anterior sería tomar en serio uno de los puntos que fundamentan la postura del REM: debe haber coherencia entre nuestra metafísica y nuestra epistemología.

Lo que de principio me interesa es identificar el tipo de identidad temporal que, sustentada en aspectos empíricos, configura la RG, de manera que pueda ofrecernos una referencia más clara y consistente.

Desde lo que he llamado, la ontología ortodoxa de la RG, un objeto relativista es una unidad espaciotemporal que se extiende tanto en el espacio como en el tiempo, y ocupa una cierta región en el espaciotiempo tetradimensional. Esto es, dicha ontología relativista concibe que un objeto físico posee partes espaciales y temporales. En este sentido, una pregunta sería si existe suficiente evidencia empírica que sustente esta concepción.

Ahora bien, una solución de las ecuaciones de campo de Einstein (ver sección anterior) permite establecer condiciones observables, las que son verificadas por medio de los test, es decir, una verificación experimental. Como ya se mencionó, en la RG, los objetos geométricos básicos, de los cuales puede predicarse existencia, serían: la variedad diferenciable M (espaciotiempo curvo), el campo gravitacional $g_{\mu\nu}$ y el “contenido” del tensor energía-

momento $T_{\mu\nu}$, a la vez de los puntos espacio-temporales. El conjunto de objetos, de la ontología primitiva de la teoría, se dice que “viven” en el espacio-tiempo. Las historias, a través del tiempo, de estos objetos, proveen una imagen del mundo de acuerdo con la teoría. De todo lo anterior, si un objeto “vive” en un espacio tetradimensional, ¿cuál sería la dimensión de dicho objeto?, ¿posee este partes espaciales y partes temporales?

De aquí, lo que considero que está en juego, es si tenemos razones suficientes, apoyados en aspectos empíricos, para concebir que un objeto físico es una entidad tetradimensional. “Es una cuestión empírica si un objeto dado tiene partes espaciales y deberíamos pensar que también es una cuestión empírica si un objeto tiene partes temporales”³².

Actualmente, ya hay suficiente evidencia empírica³³ para considerar que “el mundo es relativista”. Einstein mismo presentó en su artículo de 1915, los primeros test a los que podría someterse su teoría: el corrimiento del perihelio de Mercurio, y la desviación de un haz de luz de una estrella distante, al pasar cerca del Sol, los cuales han sido verificados en distintos experimentos.

Ahora bien, en el marco epistémico de la física clásica, el movimiento de un objeto se representa como una trayectoria, en un sistema de referencia meramente espacial; en el marco epistémico de la RG, para representar el movimiento de un objeto, se deben especificar tanto sus coordenadas espaciales, como la temporal; y la representación de su movimiento, corresponde a la delimitación de una curva, en una cierta región espaciotemporal, en la variedad M . Esto último se sustenta tanto por el bagaje teórico de la RG, como porque en esta teoría, el tiempo no es un elemento externo a los objetos. Así, un objeto físico moviéndose en el espacio, a través del tiempo, debe

³² Parsons, J., “Must a Four Dimensionalist Believe in Temporal Parts?” *Monist* 83(3) (2000), p. 415.

³³ Gwinner, G., “Experimental Tests of Time Dilation in Special Relativity”. *Modern Physics Letters A* 20(11) (2005).

entenderse como un objeto “moviéndose” en el espaciotiempo³⁴. El objeto que se mueve más rápido en el espacio, “desvía” movimiento en la dimensión del tiempo, por lo que, desde esta dimensión, el objeto se “vería más lento”³⁵. Asimismo, definir el movimiento de un objeto en la RG, como en la caracterización anterior, permite dar sustento al problema vinculado a la identidad a través del tiempo, vía el 4D, el problema de la analogía entre el espacio y el tiempo. La misma topología espaciotemporal de la variedad, a partir de cómo se define la métrica $g_{\mu\nu}$, y las condiciones de distancia, sustentan dicha analogía. “Todos los objetos físicos son representados en nuestra experiencia como estando localizados tanto en el espacio como en el tiempo. Hay una estructura topológica y métrica común entre cualquier dimensión espacial y temporal (al menos, relativa a un sistema de referencia)”³⁶.

No es que espacio y tiempo sean lo mismo, sino que son análogos, en tanto partes de una variedad, en tanto partes de un mismo objeto tetradimensional. De todo esto, se fundamenta el considerar que un objeto físico, en la ontología relativista, pueda caracterizarse como una especie de “gusano espaciotemporal”. Cabe aclarar que, en dicha ontología, según el estado de cada observador, alguno podría considerar que la extensión de un intervalo temporal, correspondiente al movimiento de un objeto, podrá parecer menor o mayor, pero todos coincidirán en la misma región espaciotemporal que ocupa el objeto.

Tomando el sustento empírico de la RG, hay suficientes razones para considerar que en lo que he denominado: la ontología ortodoxa de la RG, los objetos físicos, la materia, los campos, serían entidades espacio-temporales, y tal que poseen tanto partes espaciales como temporales (es pertinente

³⁴ López, C. “Identidad, tiempo y cambio: disolviendo el problema de la identidad diacrónica”. *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* 38(18) (2019).

³⁵ Greene, B., *El tejido del cosmos: Espacio, tiempo y la textura de la realidad*. Barcelona: Crítica, 2006.

³⁶ Sider, T., *Four-Dimensionalism. An Ontology of Persistence and Time*. New York: Oxford University Press, 2001, p. 87.

aclarar que, en términos generales, una entidad que “vive” en un cierto espacio, de una dimensión específica, es un ser cuya dimensión es igual o menor a la misma dimensión del espacio). Así, desde la ontología ortodoxa, un objeto se extiende, en su unidad, en el espacio y en el tiempo, esto es: “Cada objeto espacio-temporal tiene una parte temporal en cada momento en el cual existe”³⁷. Por lo que, el objeto físico corresponde a una unidad espacio-temporal que perdura, y que ocupa una región en el espaciotiempo, extendida tanto espacial, como temporalmente.

Digamos que algo *persiste* si y sólo si, de una u otra forma, existe en varios tiempos; esta es una palabra neutral. Algo *perdura* si y sólo si persiste al tener distintas partes temporales, o etapas, en diferentes tiempos, aunque ninguna parte suya está completamente presente en más de un tiempo; mientras que algo *subsiste* si y sólo si persiste al estar completamente presente en más de un tiempo”³⁸.

Una manera de explicar esto es concebir a un objeto físico como una especie de función mereológica, la cual posee partes espaciales y temporales. De aquí puede considerarse la imagen de un “gusano espacio-temporal”, por lo que un objeto físico sería una sucesión de partes temporales formando la unidad espacio-temporal de un “todo físico”. Por algo el objeto es esa totalidad espacio-temporal que ocupa en el espaciotiempo.

La cuestión aquí es si la configuración anterior resulta compatible con lo que el REM entiende por objeto físico, en el contexto de la RG, a la vez de su concepción sobre el tiempo.

En la sección anterior, identificamos que, en la visión estructuralista del tiempo del REM, los puntos espaciotemporales cumplen la función de los objetos en la RG, además de que dichos puntos adquieren su identidad, de

³⁷ *Ibidem*, p. 49.

³⁸ Lewis, D., *Sobre la pluralidad de mundos*. Cd. De México: UNAM/IIF, 2013, p. 401-2.

carácter relacional, de acuerdo con la posición que éstos ocupan en la estructura. En este sentido, ¿los aspectos espaciales y temporales de los objetos físicos, son sólo aspectos relacionales? Si esto es así, la temporalidad, desde la óptica del REM, no es una parte intrínseca de un objeto físico, y puede decirse que sólo define una propiedad relacional, extrínseca, de este, como ya pudo identificarse. Con esto, la “identidad temporal de un objeto, al ser relacional, es a su vez, extrínseca”. Ahora bien, dado que el REM niega la existencia de propiedades intrínsecas, argumentando que los objetos adquieren su “identidad” a partir de la “posición” que ocupan en la estructura relacional, entonces, ¿aspectos propios de una metafísica del tiempo, como la identidad temporal, y la dimensionalidad de los objetos como entidades tetradimensionales, no tienen cabida en la ontología que el REM configura sobre la RG?

Dado lo anterior, si se asume el compromiso ontológico de que el tiempo es algo extrínseco al objeto (como parece ser, lo hace el REM), entonces, hay cierta compatibilidad con un tridimensionalismo (3D), el cual no es compatible con la ontología ortodoxa relativista. A su vez, como se mencionó al final de la pasada sección: el argumento del REM dependería precisamente de que el 3D fuera verdadero, en el contexto de la RG.

El REM tiene una concepción del tiempo compatible con el presentismo y las A-series temporales, y a su vez, los objetos son entendidos como substancias, los cuales serían entidades tridimensionales, pues en su ontología de la RG, los objetos básicos son los eventos y procesos, a la vez de la estructura relacional (espaciotiempo). Así, los eventos representan a los objetos, y lo hacen por medio de los puntos espacio-temporales; además, los procesos representan “el cambio y movimiento de los objetos”. Sin embargo, considero que el REM evita enfrentar, entre otros, al problema de la identidad de los objetos en términos de “partes” y “localización”, el de si los objetos poseen partes temporales³⁹. Esto es, el debate 3D vs 4D, en el contexto de la RG.

³⁹ Balashov, Y., “Persistence”. In *The Oxford Handbook of Time*. Ed. by C. Callender, New York: Oxford University Press, 2011.

3.1 ¿El tiempo es una “parte” de los objetos?

Un objeto tiene una identidad temporal porque este existe en el tiempo. Si hay identidad sincrónica, se está considerando que ciertos tipos de propiedades se instancian, para que dos objetos puedan considerarse como el mismo. Asimismo, la identidad diacrónica tiene que ver con la identidad de un objeto a través de una serie o intervalo temporal (t_0, t_n). De aquí, se dice que un objeto persiste en el tiempo. “Algo persiste si y solo si de alguna manera u otra, existe en varios tiempos”⁴⁰. En términos generales, el problema de la identidad diacrónica implica una tensión entre permanencia y cambio. “Debido a que todos los objetos concretos existen al menos en el tiempo, sino también en el espacio, sus condiciones de identidad son necesariamente de carácter temporal, lo que limita su identidad tanto en un momento (identidad sincrónica) como a través del tiempo (identidad diacrónica) aunque el último, por supuesto, solo en el caso de objetos persistentes”⁴¹. La cuestión aquí es ¿por qué un objeto persiste en el tiempo? “Primero, existe el “tridimensionalismo”, según el cual los objetos persistentes se extienden en las tres dimensiones espaciales y no tienen otro tipo de extensión y persisten “perdurando en el tiempo” (sea lo que sea exactamente eso). En segundo lugar, existe un “tetradimensionalismo”, según el cual los objetos persistentes se extienden no solo en las tres dimensiones espaciales, sino también en una cuarta dimensión temporal y persisten simplemente al extenderse temporalmente”⁴².

Ahora bien, surge legítimamente la siguiente cuestión, ¿qué clase de entidad es un objeto físico, en el marco de la RG?, ¿es una entidad de la ontología “tridimensional o de la tetradimensional”? “El objeto debe ser de cuatro dimensiones, debe extenderse tanto en el tiempo como en el espacio. Entonces tendrá diferentes formas 3D en diferentes perspectivas porque tales formas

⁴⁰ Lewis, D., *Sobre la pluralidad de mundos*. Cd. De México: UNAM/IIF, 2013, p. 202.

⁴¹ Lowe, E.J., “Primitive Substances”. *Philosophy and Phenomenological Research* 3(54) (1994), p. 533.

⁴² Van Inwagen, P., “Four-Dimensional Objects”. *Noûs* 2(24) (1990), p. 245.

serán propiedades intrínsecas de sus partes 3D”⁴³. En este sentido, la RG permite especular alrededor de la dimensionalidad de los objetos, si estos son tetradimensionales o no. Desde la ontología ortodoxa de la RG, se instancia una ontología tetradimensional, aunque tal consideración no parece ser tan obvia si nos ubicamos en el ámbito de la metafísica del tiempo.

De acuerdo con lo anterior, habría que atender al problema de cómo es que un objeto permanece, y a la vez, cambia, lo que precisamente fundamenta el problema clásico de la identidad temporal, el cual, en el marco epistémico de la RG, nos conduce a indagar sobre la “naturaleza temporal de los objetos”, esto es, ¿poseen los objetos partes temporales? Así, la disputa sobre la dimensionalidad de los objetos⁴⁴, en el marco de la RG, se juega en la tensión entre el llamado tridimensionalismo (3D), y el tetradimensionalismo (4D).

Si puede hablarse de la solución que el REM da al problema de la identidad temporal, desde su concepción estructuralista del tiempo, esta parte de negar la existencia de propiedades intrínsecas, apostando por las relacionales, y haciendo esto coherente con su interpretación de la RG. Además, plantea que las substancias (objetos) son tridimensionales, por lo que el tiempo sería algo externo a estos. Esto es, la identidad temporal es relacional.

Ahora bien, tratar el problema de la identidad temporal de los objetos, en términos de propiedades intrínsecas o extrínsecas, “ha empantanado la discusión”⁴⁵ por lo que esta resulta más fructífera si se trata desde el terreno de la constitución de los objetos, recurriendo a los conceptos de “partes” y “localización” (lo que se refiere al problema del 3D vs 4D). El REM no atiende al ámbito argumentativo desde la perspectiva anterior, a pesar de que considera que objetos y estructura ocupan el mismo estatus ontológico y conceptual

⁴³ Balashov, Y., “Relativistic Objects”. *Noûs*, 4(33) (1999), p. 652.

⁴⁴ van Inwagen, P., “Four-Dimensional Objects”. *Noûs* 2(24) (1990); Zimmerman, D. W., “Persistence and Presentism”. *Philosophical Papers* 2(25) (1996); Balashov, Y., “Persistence”. In *The Oxford Handbook of Time*. Ed. by C. Callender, New York: Oxford University Press, 2011.

⁴⁵ Balashov, Y., “Persistence”. In *The Oxford Handbook of Time*. Ed. by C. Callender, New York: Oxford University Press, 2011.

(¿cuál será la dimensión de la estructura relacional espaciotiempo?). Una simple cuestión es si la estructura relacional (espaciotiempo) es una entidad tetradimensional, entonces, ¿lo serán también la materia, los objetos, los campos?

3.1.1 Los objetos y el presentismo

Para el 3D, los objetos están multilocalizados en el espacio y, asimismo, solo poseen partes espaciales. En este sentido: “Un objeto dura si y solo si está totalmente presente en cada momento en el cual existe, donde un objeto está “totalmente presente” en un tiempo sólo en el caso de que todas sus partes estén presentes en ese tiempo”⁴⁶. Lo que significa que un objeto “dura” porque existe en cada momento, y se extiende en las tres dimensiones espaciales. Así, puede ser que el tiempo no sea una parte del objeto, por lo que, a su vez, resultaría ser algo externo a este. En este sentido, el tiempo sería una especie de contenedor, en el que se colocan las cosas y los eventos, y resulta independiente de éstos.

Finalmente, basta señalar que, en esta ontología temporal, los objetos corresponden a entidades tridimensionales, con solo partes espaciales, y además, éstos existen en todo instante de tiempo en el que “duran”.

De todo lo anterior, puede considerarse que el 3D es compatible con una teoría metafísica del tiempo denominada presentismo, para el cual solo existe el presente. Asimismo, solo los objetos presentes existen. “La mayoría de los presentistas presentan su punto de vista simplemente en la forma: P₁ Solo existe el presente; o esto, P₂ Solo el presente es real”⁴⁷.

De acuerdo con la tesis presentista, puede verse que es compatible con las “A-series” del tiempo, las cuales van del pasado al futuro, pasando por el presente. Además, esto fundamenta la idea de que existe un “flujo temporal”

⁴⁶ Miller, K., “The Metaphysical Equivalence of Three and Four Dimensionalism”. *Erkenntnis* 62(1) (2005), p. 94.

⁴⁷ Golosz, J., “Presentism and the Flow of Time”. *Axiomathes* 27(3) (2017), p. 2.

de “ahoras” (instantes de tiempo), los que irían del pasado, pasando por el presente y hacia el futuro. Un punto importante es que, a partir del presentismo, se sustenta la idea de que el tiempo y el espacio son distintos en naturaleza.

Para el presentismo, los objetos “duran”, y en el flujo de los “ahoras” éstos se extienden. La idea del cambio se sustenta puesto que observamos que cambian los objetos, al estar sujetos a la dinámica temporal de dichos “ahoras”.

Finalmente, la metafísica presentista concibe al tiempo como una especie de “substancia que fluye”, aunque sólo las cosas presentes existen. Y como ya se mencionó, se fundamenta la idea de que el tiempo es algo externo a los objetos. En este sentido, ¿será compatible la ontología temporal de la RG que configura el REM, con el 3D y el presentismo?

Como se ha visto, para el REM, un objeto es “una substancia tridimensional”, y el tiempo, “algo externo a este”, además de que el tiempo “fluye”, y los objetos son “ampliamente presentes” en dicho flujo. De aquí el que la ontología sobre la RG del REM parece tener compatibilidad con el 3D y el presentismo, a la vez de que es del tipo de “concepciones separatistas” acerca del espaciotiempo, que conciben al espacio y al tiempo como entidades separadas (ver la sección anterior).

3.1.2 Los objetos y el eternalismo

El 4D concibe que los objetos poseen partes espaciales y temporales, por lo que éstos perduran, a saber:

La persistencia a través del tiempo es como una extensión a través del espacio. Un camino tiene partes espaciales en las subregiones de la región del espacio que ocupa; del mismo modo, un objeto que existe en el tiempo tiene partes temporales en las distintas subregiones de la región total de tiempo que ocupa. Este punto de vista es conocido de diversas maneras como

tetradimensionalismo, la doctrina de las partes temporales y la teoría de que los objetos ‘perduran’⁴⁸.

Para el 4D, un objeto es una entidad espaciotemporal, el cual se extiende tanto en las tres dimensiones espaciales como en la temporal. De acuerdo con lo anterior, puede considerarse que un objeto tiene una parte temporal en todo momento en el cual existe. A diferencia del 3D y el presentismo, en el 4D tiene sustento la tesis de que el espacio y el tiempo son idénticos en naturaleza. De aquí la idea de que un objeto es una sucesión de partes temporales, cuya suma forma una unidad objetual espaciotemporal.

La postura metafísica del tiempo que es compatible con el 4D se denomina eternalismo, que concibe que pasado, presente y futuro poseen el mismo estatus ontológico. Además, los objetos tendrían partes espaciales y temporales, y se “ubican” en la variedad espaciotiempo, ocupando una cierta región de este, a saber:

Según el eternalismo, objetos no presentes como Sócrates y futuros puestos de avanzada marcianos, existen en este momento, incluso aunque actualmente no están presentes. Es posible que no podamos verlos por el momento, desde este punto de vista, y pueden no estar en la misma vecindad espaciotiempo en la que nos encontramos en este momento, pero de todos modos deberían estar en la lista de todas las cosas existentes⁴⁹.

En el eternalismo se deriva la idea de que “el tiempo no existe”⁵⁰, y la de que tampoco existe un “flujo del tiempo”. Además, el tipo de serie temporal

⁴⁸ Balashov, Y., “Persistence”. *The Oxford Handbook of Time*, Ed. Craig Callender. New York: Oxford University Press, 2011, p. 13.

⁴⁹ *Ibidem*, p. 18.

⁵⁰ Acerca de esta problemática, puede verse: Gödel, K., *Obras completas*. Madrid: Alianza Editorial, 2006; Wang, H., “Time in Philosophy and in Physics from Kant and Einstein to Gödel”, *Synthese* **102** (2), (1995); Castrejón, G., “La idealidad del tiempo, Gödel y la relatividad”. *Revista de Estudios Kantianos*, Vol. 4, Núm. 2 (2019b); Castrejón, G., “Idealidad,

que se adapta al eternalismo son las denominadas “B-series”, que caracterizan la distinción temporal entre eventos A y B, en términos de que un evento ocurrió “antes de”, o es “simultáneo a”, o es “después de”, de aquí la idea de que el tiempo no existe, ya que las diferencias son sólo de perspectiva, entre tales eventos, dentro de la variedad espaciotemporal, y sólo es posible distinguir entre posiciones. Asimismo, a diferencia del presentismo, en el eternalismo todos los eventos existen, y los objetos están “localizados” espaciotemporalmente en la variedad, y decir que uno es pasado de otro tiene que ver con la posición que cada uno ocupa dentro de la variedad. El eternalismo es la teoría metafísica sobre el tiempo que postula un “Universo de bloque”. “Muchos filósofos contemporáneos están convencidos en que McTaggart estuvo esencialmente en lo correcto: nuestro mundo es como un bloque tetradiimensional, que carece de un movimiento del presente, siendo todos los tiempos y eventos igualmente reales”⁵¹.

Cabe señalar que el eternalismo es la idea metafísica del tiempo más ad hoc a lo que he llamado una ontología ortodoxa de la RG.

Para concluir, cabe resaltar varios puntos que se derivan de esta sección:

- Si se acepta un 3D como ontología de los objetos físicos, esto, en cierto sentido implica un presentismo, por lo que cobra sentido el problema del cambio, y surge a su vez el problema de la identidad diacrónica. El REM no trata explícitamente esto en su ontología de estructuras y objetos, vinculada a la RG.

substantialismo y relacionismo. Física y metafísica en el problema de la naturaleza del tiempo”, *DIKAIOSYNE* n° 36, 2021.

⁵¹ Dainton, B., *Time and Space*. Montreal: McGill Queen’s University Press, 2010, p. 27.

- En la RG, la ontología ad hoc corresponde al 4D, compatible con lo que aquí he llamado una ontología ortodoxa de la RG, y a su vez, compatible con el eternalismo. Así, los objetos físicos son unidades espacio-temporales que ocupan una cierta región en el espaciotiempo. Además, lo espacial y lo temporal son los elementos mínimos que definen la identidad de un objeto, esto es, la ontología de la RG implica que un objeto posee partes espaciales y temporales. El sustento empírico de la RG da a su vez fundamento a esto.
- En la RG, para “individuar” a un objeto, es necesario considerar sus aspectos espaciales y temporales, dado que la ontología relativista concibe que un objeto es una entidad espacio-temporal. No considerar que lo espacial y lo temporal corresponden a la identidad de un objeto, como algo intrínseco, en el contexto de la RG, resulta un tanto extraño, respecto a la ontología ortodoxa de la teoría. Un objeto en la ontología relativista posee partes espaciales y temporales.

3.2 ¿Identidad estructural del tiempo?

El REM no da una explicación acerca de cómo las relaciones corresponden a condiciones de identidad temporal. Atendiendo a que un argumento filosófico que pretenda encontrar coherencia entre la epistemología y la metafísica, y el cual afirma que sólo hay objetos y estructuras, y ambos ocupan el mismo estatus ontológico y conceptual, este tendría que atender al carácter temporal de los objetos, puesto que dicho argumento está vinculado a una teoría física, donde una de sus consecuencias conceptuales básicas tiene que ver con la noción de tiempo.

Si los objetos “están en el tiempo”, como se deriva del 3D, entonces, surge la idea de que puede considerarse que la temporalidad no sea una propiedad de los objetos, de aquí que la ontología temporal del REM, entraría en tensión respecto al problema de la identidad temporal, en el contexto de la RG y, asimismo, como se ha visto, dicha ontología temporal del REM resultaría compatible con el presentismo.

Ahora bien, si fuera el caso de que el tiempo no es “algo externo”, sino algo propio de los objetos, entonces, ser un objeto físico es ser una entidad temporal, y los objetos poseen partes temporales y espaciales, por algo, lo espacial y lo temporal no serían propiedades ni relacionales ni extrínsecas, y el REM entra a su vez en tensión con una ontología 4D y el eternalismo.

Por tanto, si el REM configurar su ontología de objetos y estructuras en el contexto de la RG, esta debería ser compatible con lo que empíricamente fundamenta la teoría, que es a su vez, compatible con el 4D. Así, hay de nuevo una tensión, respecto al problema de la identidad temporal de los objetos, que el REM no atiende. En su ontología temporal de la RG, el REM considera a los objetos como “substancias tridimensionales”, aunque sí argumenta sobre la entidad espaciotiempo, concibiéndola como una estructura física de carácter relacional, donde ni los puntos espacio-temporales, ni los objetos, poseen identidad a partir de sus propiedades intrínsecas, ya que si se habla de identidad, esta es extrínseca, relacional, a partir de la relación que tienen los puntos entre sí, de aquí el cómo el REM considera que dichos puntos no existen.

Resta hacer una revisión, respecto a qué sería un objeto físico tanto desde la óptica del 3D, como del 4D. Así, podemos considerar a los objetos⁵²:

- Tridimensionales, como un “pedazo” de materia espacial que dura.
- Tetradimensionales, como el contenido material de una región del espaciotiempo.

Si el objeto físico es tridimensional, entonces sería “algo en el tiempo”, y en cierto sentido, lo temporal no es una propiedad de identidad del objeto. Si el objeto físico es tetradimensional, entonces posee partes espaciales y temporales, y lo temporal corresponde a una propiedad de identidad. Además, se puede considerar que las regiones espaciotemporales que no contienen materia no tienen, a su vez, objetos físicos.

⁵² Heller, M., *The Ontology of Physical Objects: Four-Dimensional Hunks of Matter*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

Los argumentos anteriores cobran sentido desde la perspectiva del debate sobre la dimensionalidad de los objetos (3D vs 4D).

3.2.1 ¿Los objetos poseen dimensión temporal?

Como se ha podido constatar, el REM es compatible con la ontología temporal derivada del 3D, y con el presentismo. Asimismo, el REM considera que cuando se pasa a una ontología tetradimensional como la de la RG, ya no se trata de objetos y espaciotiempo como sustancias, sino de eventos y procesos, relaciones y estructuras, a saber:

Si uno cambia de una física del espacio tridimensional a una física de cuatro dimensiones espaciotiempo (universo de bloques), ya no hay necesidad de admitir sustancias como entidades que son la base duradera del cambio, siendo el cambio el cambio de las propiedades de sustancias, siendo el movimiento el cambio en la ubicación de las sustancias. Además, no es necesario concebir la identidad de las cosas como la identidad de las sustancias en el tiempo, porque las sustancias no tienen partes temporales”⁵³.

En este punto, considero que existe una tensión entre la ontología temporal del REM y la ontología ortodoxa de la RG, la cual es análoga a la tensión entre el 3D y el 4D.

La ontología temporal del REM está cercana a un 3D, con relación a la identidad temporal de los objetos, dado que concibe a éstos como “sustancias tridimensionales”. Además, en el contexto de la RG, el REM considera que sólo puede hablarse de eventos y procesos, y asimismo, en cuanto a los objetos, éstos son representados por los puntos espacio-temporales, cuya existencia pone en duda, además de que su identidad está dada por “el lugar que ocupan en la estructura”, por lo que si puede hablarse de una identidad temporal, esta es relacional; entonces, ¿cómo se sustenta la implicación

⁵³ Esfeld, M., “Metaphysics of science between metaphysics and science”. *Grazer Philosophische Studien* 74 (2007), p. 6.

ontológica y conceptual que plantea el REM, entre los objetos y la estructura (espaciotiempo), siendo que esta última es una estructura tetradimensional?

En la ontología relativista ortodoxa de la RG, un objeto es una entidad espacio-temporal, por lo que este posee partes espaciales y temporales. Cabe señalar que el sustento empírico de la teoría da fundamento a esto. Asimismo, dado que el REM se decanta por un 3D, entonces, como ya se señaló, resulta compatible con un presentismo; sin embargo, esto resulta controversial desde la ontología ortodoxa relativista, que es compatible con el 4D, a la vez de con el eternalismo. Aun así, el REM tiene una respuesta:

En la metafísica del universo de bloques, la identidad se puede explicar en términos de genidentidad, es decir, secuencias de eventos que instancian propiedades iguales o similares. En otras palabras, la identidad de cualquier objeto físico en el tiempo se explica por el hecho de que el objeto es un proceso cuyas partes temporales forman una secuencia continua, exhibiendo propiedades físicas similares”⁵⁴.

Se observa que se pretende explicar la identidad como una “secuencia de eventos que instancian propiedades iguales o similares” (como un “gusano espacio-temporal”), por lo que, ¿esto no es extraño para una postura que niega la existencia de propiedades?, ¿no resulta contradictorio que se hable de “partes temporales” que exhiben propiedades físicas? El REM no atiende el 4D, pero en cierto sentido acepta un eternalismo. De todo esto, cabe señalar que:

- Como ha podido verse, en cierto sentido, los argumentos del REM dependen de que el 3D sea cierto. Asimismo, parece ser que tales argumentos se acercan a la tesis de que la metafísica temporal de la RG es el presentismo.
- Para el REM, objetos y espaciotiempo (estructura), en el contexto de la RG, poseen el mismo estatus ontológico y conceptual; sin embargo,

⁵⁴ *Íbidem.*

a como ha podido verse, solo le da prioridad ontológica y conceptual a la estructura relacional espaciotiempo.

- Para el caso de los objetos, el REM los trata como entidades que son “representadas en una ontología de eventos y procesos”. De todo esto, parece más cercano a un REO, pues el REM niega que existan los puntos espacio-temporales (que representan a los objetos), y en cambio, afirma que la “identidad de estos últimos está dada por el lugar que ocupan en la estructura”; por lo que, ¿hace falta afirmar que objetos y estructura ocupan el mismo estatus ontológico, cuando, de nuevo, la estructura es una entidad tetradimensional?

En todo caso, aceptar un 3D en la ontología de la RG resulta ser un problema todavía abierto. Sin embargo, como ya se ha visto, la RG resulta ser más compatible con un 4D, lo cual se apoya, incluso, en los aspectos empíricos de la misma teoría. Además:

- Un argumento del REM es que, al pasar a una ontología tetradimensional, ya no se habla de “objetos como sustancias”, sino de eventos y procesos, sin embargo, tendría que resolver el problema de la identidad temporal de los objetos, en términos del debate entre el 3D y el 4D. No lo hace. Aun así, configura, indirectamente, una visión del tiempo, como una sustancia que “fluye” y es exterior a los objetos.
- ¿El REM debe aceptar un presentismo?, o en todo caso, debe mostrar porqué habría compatibilidad entre un eternalismo y el 3D.

En este sentido, dado que el REM considera que un objeto no es más que aquello que soporta relaciones, y éstas solo existen como relaciones entre objetos, al aplicarse al caso de la ontología de la RG, no alcanza a ser suficiente para dar cuenta del problema de la identidad temporal de los objetos, en términos de “partes” y “localización” (3D vs 4D). Lo que parece ser un compromiso con el 3D y el presentismo por parte del REM, no evita las consecuencias de la ontología ortodoxa de la RG, sustentada incluso, en aspectos empíricos.

Tomando la idea misma del REM, una configuración aceptable, desde la óptica de la metafísica de la ciencia, debe apostar por ser coherente con nuestra metafísica y nuestra epistemología. ¿Será que la visión estructuralista del tiempo cumple realmente con dicha apuesta?

4. Conclusiones

En este artículo configuré una noción del tiempo vinculada a una postura realista denominada realismo estructural moderado (REM), a partir de la ontología que este concibe de la relatividad general (RG), lo que me llevó a adentrarme por los terrenos de la metafísica del tiempo, en donde puse sobre la balanza nociones como presentismo vs eternalismo, 3D vs 4D, entre otras. En este sentido, pude identificar que la concepción estructuralista del tiempo, en el contexto de la RG, postula que la ontología de esta es de eventos, procesos y estructuras, manteniendo un aparente compromiso con el presentismo y el 3D, este último respecto a su concepción sobre los objetos, como aquellos que soportan relaciones y adquieren su identidad a partir de éstas.

En la concepción estructuralista del tiempo, identifiqué ciertos problemas de esta, que surgen desde la óptica de la metafísica del tiempo, tales como el de la identidad temporal, con relación a si los objetos poseen partes temporales, dado que, en esta concepción estructuralista, el tiempo resulta ser “algo” externo a los objetos, lo que parece implicar un compromiso con el 3D y el presentismo. Lo anterior entra en tensión con lo que aquí he llamado, una ontología ortodoxa de la RG, sustentada en aspectos empíricos y ontológicos que se desprenden del bagaje teórico de la teoría, y que entiende que la ontología de la RG considera que las entidades básicas: espaciotiempo, campos, materia (objetos), son entidades tetradimensionales, que poseen tanto partes espaciales como temporales, a la vez de que es compatible con el eternalismo y el 4D.

Quizá, algunos de los problemas a tratar, para trabajos futuros, relacionados con la concepción estructuralista del tiempo, están referidos a su idea del carácter modal (causal) de las estructuras, y que, en el caso de la RG, puede vincularse con la idea de la entropía y el tiempo en cosmología. Asimismo,

queda por resolver el problema de si dicha concepción estructuralista del tiempo, si es el caso de que tiene un compromiso con el presentismo, el 3D y la concepción substancialista del tiempo (compatible con las A-series temporales), realmente tiene fundamento con la ontología que la RG parece configurar, a partir de lo que llamé, una ontología ortodoxa de la RG, todo parece indicar que no.

El tiempo no es “algo” que experimentamos similarmente a como experimentamos los eventos, procesos y demás objetos físicos y, aun así, parece ser “algo” bastante familiar a nuestra experiencia cotidiana. Asimismo, el tiempo parece ser la entidad física más “volátil”, en el sentido de ser una noción compleja y controversial. ¿Experimentamos el tiempo de manera similar a como experimentamos otras entidades físicas? Quizá, la moraleja que la RG nos deja, respecto al tiempo, es que precisamente, este resulta ser lo más “volátil”. Sin embargo, a como pudo verse, la concepción estructuralista ofrece un terreno fértil para entender al tiempo, a pesar de que algunos aspectos propios de la metafísica de la ciencia le marquen ciertos inconvenientes.

Bibliografía

Balashov, Yuri, “Relativistic Objects”. *Noûs*, Vol. 33, No. 4 (Dec., 1999): 644-662. DOI <https://doi.org/10.1111/0029-4624.00198>

_____, “Persistence”, *The Oxford Handbook of Time*, Ed. Craig Callender, New York: Oxford University Press, 2011. 13-40.

Borge, Bruno., “Realismo estructural óntico y estructuras físicas”. *Revista Internacional de Filosofía Campinas* 4(2) (2017): 71-97.

Brighouse, Carolyne, “Spacetime and holes”. In *Proceedings of the 1994 biennial meeting of the Philosophy of Science Association*. Volume 1. Philosophy of Science Association, East Lansing, 1994, 117–125.

Callender, Craig ed., *The Oxford Handbook of Philosophy of Time*. New York: Oxford University Press, 2011.

Calvo Vélez, David. “Crítica del isomorfismo de los modelos estructuralistas”. *Teorema* 24(3) (2006): 57-72.

Cao, Tian Yu, “Can We Dissolve Physical Entities into Mathematical Structures?” *Synthese* 136(1) (2003): 57-71. Recuperado de <https://www.jstor.org/stable/20117387>

Castrejón, Gilberto, “Sobre el estatus ontológico del espaciotiempo. Una respuesta al

realismo estructural”, *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* Núm. 19.39 (2019a): 43-84.

DOI <https://doi.org/10.18270/rcfc.v19i39.2803>

_____, “La idealidad del tiempo, Gödel y la relatividad”. *Revista de Estudios Kantianos*, Vol. 4, Núm. 2 (2019b): 293-318. DOI 10.7203/REK.4.2.13825

_____, “Acerca del realismo sobre el espaciotiempo”, *Scientia in verba Magazine* 6 (2020): 75-94.

_____, “Idealidad, substancialismo y relacionismo. Física y metafísica en el problema de la naturaleza del tiempo”, *DIKAIOSYNE* n° 36, Enero-Diciembre 2021, pp. 61-89.

Chakravartty, Anja, “The Structuralist Conception of Objects”, *Philosophy of Science* 70 (5), (2003): 867-878.

Dainton, Barry, *Time and Space*, U.K.: McGill Queen’s University Press, 2010.

Dorato, Mauro. “Substantivalism, relacionism and structural spacetime realism”, *Foundations of Physics* 30, (2000): 1605-1628.

_____, “Is Structural Spacetime Realism Relationism in Disguise?” The Supererogatory Nature of the substantivalism/Relationism Debate”. *The Ontology of Spacetime II*, Ed. Dennis Dieks, The Netherlands: Elsevier, 2006: 17-38.

Esfeld, Michael, “Metaphysics of science between metaphysics and science”, *Grazer*

Philosophische Studien 74, (2007): 199–213.

Esfeld, Michael y Lam, Vincent. “Moderate structural realism about spacetime”, *Synthese* 160 (2008): 27-46. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11229-006-9076-2>

French, Steven, *The structure of the world: Metaphysics and representation*, 1st ed., New York: Oxford University Press, 2014.

Gilmore, Cody *et al.*, “Relativity and Three Four-dimensionalisms”, *Philosophy Compass* 11 (2):102-120 (2016).

Gödel, Kurt, *Obras completas*, Madrid: Alianza Editorial, 2006.

Golosz, Jerzy, “Presentism and the Flow of Time”, *Axiomathes*. (2016): 1-10. Recuperado en www.Springerlink.com, DOI 10.1007/s10516-016-9305-3.

Greene, Brian, *El tejido del cosmos: Espacio, tiempo y la textura de la realidad. Ser*, Barcelona: Crítica, 2006.

Gwinner, G., “Experimental Tests of Time Dilation in Special Relativity”, *Modern Physics Letters A* 20.11 (2005): 791-806.

Hacyan, Shahen, *Relatividad para estudiantes de física*, México: F.C.E., 2013.

Haslanger, Sally and Kurtz, Roxanne Marie, *Persistence. Contemporary Readings*, Massachusetts: MIT Press, 2006.

Heller, Mark, *The Ontology of Physical Objects: Four-Dimensional Hunks of Matter*,

Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

Hofer, Carl, “The Metaphysics of Spacetime Substantivalism”, *Journal of Philosophy* 93 (1996): 5-27.

Ladyman, James, “What is structural realism?” *Studies in History and Philosophy of Science* 29 (1998): 409-424.

Ladyman, James, Ross, Don *et al.*, *Every Thing Must Go. Metaphysics Naturalized*, New York: Oxford University Press, 2007.

Lam, Vincent y Esfeld, Michael, “The structural metaphysics of quantum theory and general relativity”, *Journal for General Philosophy of Science* 43 (2012): 243–258.

Lam, Vincent y Wüthrich, Christian, “No Categorical Support for Radical Ontic Structural Realism”, *British Journal of Philosophy of Science* 66 (2015): 605-634. Recuperado de <https://www.journals.uchicago.edu/doi/abs/10.1093/bjps/axt053>

Lewis, David, *Sobre la pluralidad de mundos*, México: UNAM/IIF, 2013.

López, Cristian, “Identidad, tiempo y cambio: disolviendo el problema de la identidad

diacrónica”, *Rev. Colomb. Filos. Cienc.* Vol. 18, no. 38, (2019): 119-159.
DOI <https://doi.org/10.18270/rcfc.v19i38.2408>

Madrid-Casado, C., “Do Mathematical Models Represent the World? The Case of Quantum Mathematical Models”, in *Nature and Life. Philosophical Essays and Physics and Biology*. Ed. J. L. González Recio. Hildesheim: Georg Olms Verlag, 2009. 67- 89.

Markosian, Nick, “Time”, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition, 2010. Recuperado de: <http://plato.stanford.edu/archives/win2010/entries/time/>.

Miller, Kristie, “The Metaphysical Equivalence of Three and Four Dimensionalism”, *Erkenntnis* 62.1, (2005): 91-117.

Montesinos, Merced, “El problema del tiempo en la relatividad general”. *Revista Mexicana de Física S* 52 (2) (2007): 68-74.

Psillos, Stathis, “Is structural realism the best of both worlds?” *Dialectica* 49 (1995): 15-46.

_____, “Is structural realism posible?” *Philosophy of Science* 68 (2001): 513-524.

Rivadulla, Andrés, “Two dogmas of structural realism. A confirmation of philosophical death foretold”, *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* 42 (124) (2010): 3-29.
DOI <https://doi.org/10.22201/iifs.18704905e.2010.890>

Romero, Gustavo E., “The ontology of General Relativity”. In *General Relativity and Gravitation*. Novello, M., Pérez Bergliaffa, S.E., Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

Rovelli, Carlo, “The Disappearance of Space and Time”. In *The Ontology of Spacetime*, 1st ed. Ed. by Dennis Dieks, 25-36. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2006.

Rynasiewicz, Robert, “Absolute versus Relational Space-Time: An Outmoded Debate?” *Journal of Philosophy* 93 (6) (1996): 279-306.

Sider, Theodore, “Four Dimensionalism”. *Philosophical Review* 106 (1997): 197-231.

_____, *Four-Dimensionalism. An Ontology of Persistence and Time*, New York: Oxford University Press, 2001.

Skow, Bradford, *Objective Becoming*. 1st ed. Oxford, UK: Oxford University Press, 2015.

van Fraassen, B. C., “Structure: Its shadow and substance”. *The British Journal for the Philosophy of Science* 57 (2006): 275-307.

Wang, Hao, “Time in Philosophy and in Physics from Kant and Einstein to Gödel”, *Synthese* 102 (2), (1995): 215.

Wald, Robert M., *General Relativity*, Chicago: The University of Chicago Press, 1984.

Will, C. M., *Theory and Experiment in Gravitational Physics*, New York: Cambridge University Press, 1993.

Worrall, John, “Structural Realism: The Best of Both Worlds”, *Dialectica* 43 (1989): 99-124.

Yourgrau, Pale, *Un mundo sin tiempo*. Barcelona: Tusquets Editores, 2007.

Zimmerman, Dean W., “Persistence and Presentism”, *Philosophical Papers*, Vol. 25, No. 2 (July, 1996): 115-126.