

Acerca del realismo sobre el espaciotiempo

Gilberto Castrejón¹

1 Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada-Unidad Legaria

Resumen¹

En el ámbito de la teoría general de la relatividad (TGR), se considera que el espaciotiempo es una entidad real. En este sentido, atendiendo al realismo sobre entidades, surgen problemas como ¿qué tipo de entidad es el espaciotiempo?, ¿cuál es su naturaleza? Tradicionalmente, en atención a dicha teoría conviven dos concepciones realistas: la substancialista, donde el espaciotiempo sería una sustancia; y la relacionista, tal que el espaciotiempo correspondería a una “relación entre sustancias”.

En este trabajo presento primeramente los conceptos básicos de la TGR, estableciendo desde aquí lo que sería el estatus ontológico del espaciotiempo; después, ubico el debate entre substancialistas y relacionistas, y algunas de las consecuencias filosóficas que éste trae a colación, vinculadas, a su vez, a un tipo de realismo llamado realismo estructural; finalmente, a nivel especulativo, trato los aspectos de un realismo denominado “pluralismo ontológico”, considerando que la gravitación universal y la relatividad general fundamentan lo que podría llamarse un pluralismo ontológico del espacio y el tiempo. En este último sentido, tomando como referencia un resultado teórico que muestra que la TGR es una

“teoría de norma”, y tal que, en el aspecto sustantivo, puede haber distintas formulaciones de la TGR, que difieren en el nivel ontológico, me permite sustentar la idea de un pluralismo ontológico del espacio y el tiempo, en el contexto mismo de la TGR.

La conclusión es que el problema sobre la naturaleza del espaciotiempo sigue siendo un problema no resuelto, puesto que, ¿el espaciotiempo es una entidad real?, ¿existe como entidad física o como entidad matemática?

Palabras clave: Espaciotiempo, realismo, relatividad general, *substancialismo*, *relacionismo*.

Abstract

In the field of general theory of relativity (TGR), spacetime is considered a real entity. In this sense, attending to realism about entities, problems arise such as what kind of entity is spacetime? What is its nature? Traditionally, in view of this theory, two realistic conceptions coexist: the substantialist, where spacetime would be a substance; and the relationist, such that spacetime would correspond to a “relationship between substances.”

In this paper I first present the basic concepts of the TGR, establishing from here what would be the ontological status of spacetime; later, I place the debate between substantialists and relationists, and some of the philosophical consequences that this brings up, linked, in turn, to a type of realism called structur-

1 Este artículo corresponde a una versión más extensa de la ponencia: “¿El espaciotiempo es un ente del mundo? Bases para un pluralismo ontológico del espacio y el tiempo”, que fue presentada en el IV Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología. «*Cultura científica y cultura tecnológica*», llevado a cabo del 3 al 7 de Julio de 2017, en Salamanca, España.

al realism; Finally, at a speculative level, I deal with aspects of a realism called “ontological pluralism”, considering that universal gravitation and general relativity support what might be called an ontological pluralism of space and time. In this last sense, taking as a reference a theoretical result that shows that the TGR is a “norm theory”, and such that, at the substantive level, there may be different formulations of the TGR, which differ in the ontological level, allows me to support the idea of an ontological pluralism of space and time, in the context of the TGR.

The conclusion is that the problem about the nature of spacetime remains an unsolved problem, since, is spacetime a real entity? Does it exist as a physical entity or as a mathematical entity?

Key words: Spacetime, realism, general relativity, substantivalism, relacionism.

Introducción.

En términos generales, el realismo científico puede caracterizarse tanto en un realismo acerca de teorías, como en un realismo acerca de entidades (Dorato, 2008, p. 19), (Hacking, 1996, p. 39). Lo que aquí me interesa es el caso de que en el ámbito de la considerada “mejor teoría de espacio y tiempo”, la teoría general de la relatividad (TGR), ser realistas con respecto a la TGR, implicaría ser realistas con respecto a la entidad básica de esta teoría, el espaciotiempo. El problema de si es una “entidad real”, lo que a su vez nos conduciría a la cuestión: ¿el espacio y el tiempo son entes del mundo?

En la sección II expongo los principales conceptos de la TGR, desarrollando a su vez la idea del realismo sobre el espaciotiempo, alrededor del debate entre substancialistas y relacionistas, y finalmente, presento algunas de las consecuencias del estatus ontológico del espaciotiempo. En la siguiente sección, establezco las

bases de la postura realista denominada pluralismo ontológico (Lombardi y Pérez Ransanz, 2012), a la vez de que sustento la idea de que existe un genuino pluralismo ontológico entre la teoría de la gravitación universal (TGU) y la TGR. La cuarta sección resulta especulativa, dado que se plantea la cuestión de si puede existir un pluralismo ontológico en el contexto de la TGR. Para ello me remito al caso de la formulación de Ruy Utiyama (1956) frente al formalismo geométrico de Einstein. Finalmente, en la sección V se dan las conclusiones.

Conceptos básicos de la TGR y el debate substancialistas vs relacionistas.

“La relatividad general se desarrolló como una teoría de la gravedad que incorpora la explicación cualitativa de la estructura del espaciotiempo que se encuentra en la relatividad especial” (Maudlin, 2014, p. 198). Esta teoría le atribuye una estructura geométrica intrínseca y objetiva al espaciotiempo, y asimismo, “la distribución de la materia *influye* en la geometría del espaciotiempo, pero la distribución de la materia no determina la geometría del espaciotiempo” (Maudlin, 2014, p. 198). Así, tomando como base una “explicación de la gravedad con relación a la curvatura del espaciotiempo”, Einstein propuso los siguientes postulados (Einstein, 2005), (Hacyan, 2013), (Misner et. al, 1973), (Wald, 1984):

El espaciotiempo físico es un espacio de Riemann (una variedad riemanniana M) de dimensión 4, esto es, una “variedad diferenciable”, definido por una métrica, que en forma general se expresa por

$$ds^2 = \sum_{\mu, \nu=0}^3 g_{\mu\nu} dx_{\mu} dx_{\nu} \quad (1),$$

y cuya curvatura se debe al campo gravitacional. En cada punto de dicho espacio se puede admitir un espacio tangente, el espacio de Minkowski, y tal que

puede reducirse a éste en ausencia de gravedad. Asimismo, una partícula en caída libre se mueve por una geodésica a lo largo del espacio riemanniano.

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.

Asimismo, en la TGR, “la geometría se vuelve dinámica, la gravedad curva al espaciotiempo y la trayectoria de una partícula es equivalente a una curva geodésica” (Hacyan, 2013, p. 150). La base matemática de la teoría está dada por las ecuaciones de campo de Einstein, 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 espaciotiempo debido a la presencia de materia y energía, o del campo gravitacional. Las ecuaciones de campo², en forma compacta, son:

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

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

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

$T_{\mu\nu}$: Tensor energía-momento.

G : Constante gravitatoria.

R : Curvatura escalar.

c : Velocidad de la luz.

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

² En la versión de las ecuaciones de campo que involucra lo que se conoce como “constante cosmológica”: Λ , en el lado izquierdo de las ecuaciones de campo, se suma el término: $\Lambda g_{\mu\nu}$. La constante cosmológica fue incluida por Einstein, con la finalidad de obtener una solución de las ecuaciones de campo que diera un universo estático.

1 El Tensor de curvatura de Ricci $R_{\mu\nu}$ 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 TGR asociar tal tensor métrico a las propiedades de un campo gravitacional), es decir, contiene la información correspondiente a cada punto del espaciotiempo M .

En esta teoría, 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. Basta decir que en la TGR, la presencia de materia curva al espaciotiempo, y la estructura geométrica de éste, al curvarse, hace que los cuerpos describan geodésicas en su movimiento. Esto es: un objeto masivo curva la dimensión del tiempo y las tres dimensiones del espacio, acorde a las ecuaciones de campo de Einstein.

A su vez, si hay ausencia de materia ocurriría que:

$$R_{\mu\nu} - (1/2)g_{\mu\nu}R = 0 \quad (3).$$

Esta nulidad no implica que el espaciotiempo pueda ser plano; en el vacío (ausencia de materia), el tensor de curvatura de Ricci es cero en todas partes,

es decir, todas sus componentes son cero. Lo que sí podría implicar que el espaciotiempo sea plano es que las 20 componentes del tensor de Riemann sean cero. Ahora bien, dado que en el lado derecho de las ecuaciones de campo de Einstein tenemos al tensor de energía-momento $T_{\mu\nu}$, el cual representa la distribución de la materia y la energía en el espaciotiempo, puede entenderse que mientras más materia y energía haya, mayor será la curvatura. Cabe aclarar que la distribución de materia y energía no *determina* la estructura geométrica del espaciotiempo, únicamente la *construye*, ya que si $T_{\mu\nu}=0$, una solución de las ecuaciones de campo de Einstein resulta ser el espaciotiempo de Minkowski de la relatividad especial, pero no es la única solución de las ecuaciones, para este caso.

A su vez, para encontrar una solución de las ecuaciones de campo, se deben considerar condiciones de contorno, esto es, condiciones en ciertas regiones del espaciotiempo, dado que, por ejemplo, el espaciotiempo es más curvo en regiones cercanas a una estrella, y la curvatura va desvaneciéndose a la distancia de la estrella, en cuyo caso, *podría* considerarse un espaciotiempo asintóticamente plano.

Ahora bien, en la TGR no existe tal cosa como una “fuerza de gravedad” a la Newton. Se habla de fuerzas ficticias en marcos inerciales, pero sólo se atribuyen dichas fuerzas porque, por ejemplo, un cuerpo en la Tierra, puede acelerarse, y consideramos a la Tierra como “marco inercial”, aunque no lo sea precisamente. Así, desde el marco de la TGR, el concepto de fuerza, que produce una aceleración de los cuerpos, no tiene utilidad, como en la gravitación de Newton. En la TGR los cuerpos sólo se aceleran en presencia de campos gravitacionales, y electromagnéticos.

En un contexto más contemporáneo, a la sazón de Earman y Norton (1987), la TGR es tratada como una teoría de espa-

ciotempo, tal que puede caracterizarse en términos de modelos de espaciotiempo. En este contexto, un modelo es una variedad cuatridimensional diferenciable M , junto con un conjunto de objetos geométricos definidos en cada punto de la variedad. De manera que puede establecerse un conjunto de $n+1$ elementos de la forma: $\langle M, O_1, \dots, O_n \rangle$, donde M es una variedad diferenciable con una estructura intrínseca, y O_1, \dots, O_n son objetos geométricos, para los cuales, en un modelo específico, se satisfacen un conjunto de ecuaciones de campo, y a su vez, una solución de dichas ecuaciones de campo permitirá establecer condiciones observables, las que son verificadas por medio de los test, es decir, una verificación experimental.

Así, en el caso específico de la TGR, en un modelo de relatividad general $\langle M, g_{\mu\nu}, T_{\mu\nu} \rangle$, el dominio M se toma para representar los puntos del espaciotiempo (con propiedades y relaciones absolutas, determinadas por la estructura topológica y diferencial de la variedad) que existen en un mundo, y asimismo, $g_{\mu\nu}$ y $T_{\mu\nu}$ definidos sobre M son tomados para representar las propiedades (dinámicas) y relacionales que poseen los puntos (Rickles, 2008). De esta manera, podrá hablarse de “modelos de espaciotiempo en relatividad general”, tal que corresponden a soluciones de las ecuaciones de campo de Einstein. Además, si $\langle M, g_{\mu\nu}, T_{\mu\nu} \rangle$ y $\langle M, d^*g_{\mu\nu}, d^*T_{\mu\nu} \rangle$ son modelos de espaciotiempo, y d es un difeomorfismo, entonces ambos modelos deben ser equivalentes.

Ahora bien, de acuerdo a todo lo anterior, y en términos de lo que puede entenderse por “ontología primitiva” (Allori, 2013), toda teoría física fundamental posee una estructura común, definida por:

Un acuerdo con el mundo (imagen manifiesta), el cual parece ser constituido por objetos macroscópicos tridimensionales con propiedades bien definidas.

El conjunto de objetos, de la ontología primitiva de la teoría, viven en un espacio o en el espaciotiempo. Las historias, a través del tiempo, de estos objetos, proveen una imagen del mundo acorde a la teoría.

El formalismo de la teoría contiene variables primitivas para describir la ontología primitiva, y a su vez, variables no primitivas, que matemáticamente implementan cómo se envuelven en el tiempo las variables primitivas.

Las propiedades de los objetos macroscópicos se siguen de un claro esquema explicativo en términos de la ontología primitiva.

Por lo anterior, podría decirse que en la TGR, 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 tensor energía-momento $T_{\mu\nu}$, a la vez de los puntos espaciotemporales. Finalmente, como ya se vio en los postulados de la TGR, esta teoría postula que el espaciotiempo físico es un espacio de Riemann de 4 dimensiones, la variedad diferenciable M . La pregunta que surgiría tiene que ver con ¿qué tipo de entidad es el espaciotiempo?, ¿una sustancia o una relación entre sustancias? Lo referente al problema del realismo sobre el espaciotiempo, que atiende a su vez a la cuestión: ¿cuál es la naturaleza del espaciotiempo?

De esto, en términos generales se tienen dos respuestas (Dorato, 2008), (DiSalle, 2008), (Huggett and Hofer, 2009), (Friedman, 1983), (Earman, 1998), (Dieks, 2006, 2008):

1 El espaciotiempo es una sustancia. La variedad diferenciable M postulada por la TGR es dicha sustancia, y tiene una existencia real. (Enfoque substancialista).

2 El espaciotiempo es una relación entre sustancias. La variedad diferenciable M sólo es una “etiqueta”, lo que existen son materia y campos, como el

campo gravitacional, representado por el tensor métrico $g_{\mu\nu}$. (Enfoque relacionista).

Alrededor de estas concepciones³, un autor como Robert Rynasiewicz (1996) afirma que dicha disputa es anticuada, pues con la llegada de las “teorías de campos”, específicamente lo que el autor llama la “visión electromagnética de la naturaleza”, dicha disputa, a la sazón de como la plantearon Leibniz y Clarke (1984), ha quedado obsoleta. Cabe señalar que precisamente puede considerarse a la TGR como una “teoría de campos”, con lo que resultaría poco consistente, según Rynasiewicz, distinguir entre “contenedor” y “contenido”. Aunque como Dean Rickles (2008) menciona, uno de los puntos básicos de fundamentación del debate tiene que ver con “una clara distinción entre ‘materia’ y ‘espaciotiempo’”, lo que implicaría a su vez decidir por una “prioridad ontológica” de la materia o del espaciotiempo. Para un substancialista la prioridad la tiene el espaciotiempo, independientemente de considerarlo como “contenedor”. De esto último, el mismo Rynasiewicz afirma que si algún substancialista considerara al campo métrico como representando al espaciotiempo, en la TGR, dicho campo métrico no admite definitivamente una interpretación como contenedor o contenido, ni como “estructura sustantiva” ni como “estructura relativa”, pues sería entenderlo como el “campo gravitacional”.

³ Mauro Dorato (2008) ha propugnado por un enfoque de realismo estructural, en cuanto a que según el autor, puede sustentarse un *relacionismo* de tipo realismo estructural para el espaciotiempo. De forma similar, un autor como John Stachel se ha inclinado por un realismo estructural de espaciotiempo. En un tenor un tanto radical, D. Lehmkuhl ha planteado lo que él llama egalitarian interpretation of GTR, la cual, según el autor, puede resultar incompatible, bajo ciertos matices, con un enfoque geométrico y de campo. Las problemáticas sobre estos tipos de realismos sobre el espaciotiempo rebasan los alcances del presente trabajo, aquí nos interesa sólo ubicar el debate en sus términos más generales, que es precisamente la interpretación substancialista y la relacionista de la TGR.

Carl Hofer (1996) considera que el debate, a favor del *substancialismo*, podría tener significación si se centrara más alrededor del estatus ontológico del campo métrico, debido a la naturaleza dinámica de éste en el ámbito de la TGR. Lo anterior tiene que ver con postular un *substancialismo* del campo métrico, referido a las ecuaciones de campo, y considerar a su vez que tal “campo métrico puede existir sin materia”. Así, en este tipo de *substancialismo*, el espaciotiempo sería una clase de objeto que podría, en consistencia con las leyes de la naturaleza, existir independientemente de las cosas materiales (materia ordinaria, luz y otras), por lo que a su vez sería descrito como teniendo propiedades intrínsecas, por encima de las propiedades de las cosas materiales que podrían ocupar partes de éste (Hofer, 1996). Cabe señalar que esto conduciría a considerar que quizá los campos podrían interpretarse como que definen ciertas propiedades de la variedad diferenciable M . Dado que “un objeto geométrico campo” sobre M es una correspondencia F que le asigna a cada punto p de M con coordenadas X_i ($i=0, 1, 2, 3$), una cuádrupla de números reales F_p , lo que finalmente definiría un *substancialismo* de tipo $M + g_{\mu\nu}$ (Maudlin, 1989), (Stachel, 1993). Siendo así, una cuestión que surgiría aquí tiene que ver con la existencia e identidad de los puntos espaciotemporales, ¿éstos existen o son sólo “etiquetas” de los eventos o fenómenos?

Así, en atención al *substancialismo*, como dijera Oliver Pooley (2013): “Hemos visto que el *substancialismo* es reconocido por una directamente preferente interpretación realista de nuestra mejor física. Esta física presupone una estructura geométrica que es natural interpretar como primitiva y como físicamente instanciada en una entidad ontológicamente independiente de la materia” (p. 539). De aquí que el espaciotiempo, definido por la variedad diferenciable M , tendría su significación específica como

parte de la “ontología primitiva” de la TGR, en términos meramente geométricos, esto es, el espaciotiempo sería un “objeto geométrico de dimensión 4”. Esto último definiría el estatus ontológico del espaciotiempo.

A su vez, en el caso de una postura relacionista, ésta plantea que el espaciotiempo no goza de una existencia propia, lo que hay son relaciones entre objetos materiales, y “los posibles patrones de las relaciones espaciotemporales entre ellos”. A la sazón de Poincaré, las verdaderas relaciones entre estos objetos reales son la única realidad que podemos alcanzar (Poincaré, 1952). Para un relacionista, el espaciotiempo debe ser definido a través de la materia, por lo que la prioridad ontológica la tendría ésta. Así, un relacionista como Carlo Rovelli (2008) afirma:

Por tres siglos, el espacio ha sido considerado como la entidad preferida con respecto a la cual todas las demás entidades son localizadas. En los siglos 20 y 21 y con la relatividad general hemos aprendido que no es necesario este marco para, en su lugar, guardar realidad. La realidad guarda en sí misma su lugar. Los objetos interactúan con otros objetos, y esto es la realidad. La realidad es la red de estas interacciones. No necesitamos una entidad externa para sostener esta red. No necesitamos al espacio para sostener el universo (p. 32).

Autores como Rovelli consideran que lo único fundamental son la materia y los campos, como el campo gravitacional. Afirmar que el espacio o el espaciotiempo es una relación significaría que el mundo consiste enteramente de objetos físicos, los cuales tendrían la propiedad de estar o no en contacto unos a otros, por lo que el espacio (o el espaciotiempo) sería este “estar en contacto”.

Ahora bien, en una perspectiva insertada en el “realismo estructural”, Mauro Dorato (2008) identifica que existen diversas dificultades para seguir sosteniendo el debate substancialistas vs relacionis-

tas, en cuanto a ser realistas con respecto al espaciotiempo, en el marco de la TGR. En este sentido, el realismo estructural declara que “la ciencia es acerca de estructuras”, esto es, acerca de relaciones físicas que son, en un cierto sentido parcial, descritas por los modelos matemáticos del mundo físico. Con ello, para Dorato, dado que el espaciotiempo define una estructura matemática, esto ejemplifica una forma de *relacionismo*, puesto que “las estructuras son entidades reales y reconocibles”, lo que lo conduce a identificarse con lo que llama: “un realismo sobre entidades”: el realismo que considera que las *no directamente* observables entidades teóricas, postuladas por teorías bien confirmadas, tienen una existencia independiente de la mente, dígase los quarks, electrones, el espaciotiempo, etc. (Hacking, 1996). Si bien, Dorato tiene que vérselas con los dos tipos de realismo estructural: el epistémico y el óntico, y de ahí trata de identificar cuál realismo estructural se ajusta más al espaciotiempo, en términos de un relacionismo, su conclusión es que fundamentar un realismo estructural del espaciotiempo como una forma de relacionismo, implica aceptar un “doble rol del campo métrico” en la TGR. El campo métrico es espaciotemporal y físico al mismo tiempo, por lo que es una entidad real, esto es, “el campo métrico es el espaciotiempo”. Asimismo, considera que responder a la cuestión de si es una sustancia o una relación entre sustancias es menos importante que establecer su existencia puesto que ejemplifica una estructura. Un realismo estructural del espaciotiempo se torna así en una forma de *relacionismo*, y tal que el debate substancialistas vs relacionistas parece tener menos relevancia. Aun así, una visión de realismo estructural debe a su vez explicar qué entiende por representación, puesto que si lo único que existen son estructuras, ¿por qué nos representamos objetos, fenómenos?

En un enfoque similar de realismo

estructural sobre el espaciotiempo, se inserta la reflexión de Jonathan Bain (2008), sólo que este autor toma como punto de partida lo que se ha denominado “realismo semántico”: el enfoque realista que postula una realidad de los modelos matemáticos de las teorías, esto es, una *literal interpretación* de las sentencias que hacen las teorías a través de sus modelos (Earman, 1987), (Horwich, 1982). Atendiendo a lo anterior, Bain se adhiere a un realismo estructural óntico: “las estructuras son lo único que hay”. El tratamiento del autor es formal, considerando un estatus ontológico del espaciotiempo desde el formalismo tensorial estándar de las teorías clásicas de campos, y tratando de identificar su equivalencia en la teoría twistor, las álgebras de Einstein y el álgebra geométrica. Bain finalmente concluye:

Como una forma de realismo con respecto al espaciotiempo, un estructuralismo del espaciotiempo debe ser caracterizado por lo siguiente: (a) No es un *substancialismo*: No es un compromiso con los puntos espaciotemporales. (b) No es un *relacionismo*: No adopta una actitud anti-realista hacia el espaciotiempo. (c) Preferentemente, clama que el espaciotiempo es una estructura real que es encarnada en el mundo (Bain, 2008, p. 64).

De todo lo anterior, y en términos generales, podemos traer a colación que:

(a) Un substancialista postula una estructura geométrica intrínseca del espaciotiempo; además de postular identidad física a los puntos espaciotemporales; debe negar también el “Argumento del agujero” (Earman and Norton, 1987, ver punto 4 más adelante); y darle un sentido óntico a la geometría (Maudlin, 2014), (Friedman, 1983). En esta interpretación, los cuerpos se mueven describiendo una geodésica, la cual se debe a la presencia de materia-energía, que constriñe al espaciotiempo a curvarse, por lo que existen a su vez ciertos objetos geométricos como el tensor métrico o el tensor de en-

ergía-momento, que adquieren sentido físico.

(b) Un relacionista (Rovelli, 2008), (Montesinos, 2007) considera que únicamente existen cuerpos, materia, campos; y por tanto, que el campo gravitacional es el espaciotiempo. En esta interpretación, los cuerpos se mueven por la interacción propiamente de dos campos, el campo gravitacional y el tensor de energía-momento. Esto es:

La relatividad general está basada en la observación de que todo lo que existe en el universo son campos de materia, independientemente de la manifestación concreta de estos campos. No existe “espacio” ni “tiempo” *a priori*, *i.e.*, sin la presencia de materia. La materia da origen, por decirlo así, a las nociones de tiempo y espacio. Los campos de materia no existen en el “espacio” y “tiempo”, sino que la existencia objetiva de ésta genera tales nociones. El aspecto fundamental es simplemente la existencia de la materia. La variedad y las coordenadas, que etiquetan los puntos de ésta, son sólo herramientas auxiliares en la descripción de los fenómenos físicos, y deben ser eliminados cuando se requiera hacer predicciones de la teoría compatibles con la covarianza bajo difeomorfismos de la relatividad general” (Montesinos, 2007, p. 69).

(c) Finalmente, para el caso del realismo estructural, el estatus ontológico del espaciotiempo se refiere a que éste es una estructura matemática real, puesto que en los distintos formalismos lo que se preserva es la estructura. A tenor de algunos de sus defensores (Ladyman y Ross, 2007), los problemas con respecto al estatus ontológico del espaciotiempo, en términos del debate substancialistas vs relacionistas, estriban en la insistencia de interpretar al espaciotiempo en términos de una ontología de entidades subyacentes y sus propiedades. Así, para el realismo estructural del espaciotiempo, dar respuesta al problema del realismo

sobre el espaciotiempo sería entender a la TGR como una teoría en la que resulta secundaria la descripción de entidades con identidad e individualidad. La primacía la tiene la estructura relacional en la que dichas entidades están embebidas, y esta estructura es matemática.

La polémica sobre el realismo del espaciotiempo, en términos del debate entre substancialistas vs relacionistas, y a su vez, la respuesta del realismo estructural, lo único que deja claro es que dentro del marco epistémico de la TGR conviven distintas concepciones ontológicas, cada una con su muy particular manera de concebir al espaciotiempo, lo cual no incide ni positiva ni negativamente en el poder explicativo de la teoría. El punto que me interesa señalar es que si se afirma que una teoría representa literalmente al mundo físico (como se cree lo es la TGR), de ahí se podrían obtener elementos para afirmar un realismo sobre las entidades que postula, pero tales entidades deberían estar libres de controversias. Y aun así: ¿qué tipo de entidad es el espaciotiempo?, ¿cuál es su estatus ontológico?

En el caso de la TGR, lo más seguro es que sea la teoría que mejor explica el mundo físico, y la entidad fundamental que postula, el espaciotiempo, la entidad que mejor se adapta a una visión objetiva. Aunque, si se tuviera que aceptar que las nociones de espacio y tiempo, derivadas de dicha teoría, son las más objetivas, éstas deberían estar libres de controversias, y deberían a su vez ser únicas, tener unicidad en su concepto.

A mi modo de ver, el problema con el debate es que no hay razones suficientes para inclinarse por alguna postura, dado el estado de la cuestión con respecto a la diversidad de posturas realistas. De aquí que puedan seguirse planteando cuestiones como: ¿el espaciotiempo existe?, y considerar la pregunta de si el espacio y el tiempo son entes del mundo. En el contexto de la TGR, la cuestión tiene que ver

con el problema de si la entidad espaciotiempo existe, o “lo único que existe son materia y campos”, aunque cabe aclarar que precisamente, atacar la cuestión no implicaría inclinarse por una postura relacional sobre la naturaleza del espaciotiempo. Así, resulta que de una u otra forma, el problema ontológico planteado no está del todo resuelto.

Ahora bien, desde un enfoque meramente ontológico, en términos generales tenemos dos perspectivas desde las que puede analizarse el problema de la existencia de un ente, en relación con la ciencia (Abbagnano, 2000):

1 Como modo de ser determinado, es decir, definido de cierta manera. Lo cual es el caso de cada ciencia particular, en términos de cómo definen la naturaleza de los entes que estudian. Con respecto al espaciotiempo, surgirían cuestiones tales como: ¿el espaciotiempo existe como entidad física o como entidad matemática?, ¿qué tipo de argumentos pueden darse a favor de uno u otro modo de existencia?

Como existencia en términos de hecho, un modo de ser real. De aquí que el decidir sobre la existencia o no del espaciotiempo, tendría que ver directamente con las condiciones específicas, propias de una ciencia particular, que se establecen para postular la existencia de objetos. En el caso de la física, surgirían cuestiones como: ¿las verificaciones experimentales de la TGR corresponden a condiciones suficientes para postular la existencia del espaciotiempo?, ¿puede observarse el espaciotiempo?, ¿éste está definido con base a los procedimientos de control y medición propios de la física?

Finalmente, existen ciertos inconvenientes con respecto al problema del realismo sobre el espaciotiempo, vinculados sobre todo a aspectos como:

1 El carácter geométrico del espaciotiempo, sobre si la geometría adquiere un sentido óntico (Maudlin, 2014), (Earman, 1989), (Petrov, 2009), (Dainton,

2010).

2 La existencia o no de los puntos espaciotemporales, sobre si éstos sólo son “etiquetas” de eventos y no poseen *heccidad*⁴ (Brown, 2005). En esto se sostienen algunas de las posturas anti-substantialistas como la relacionista o la de realismo estructural.

3 El problema sobre la naturaleza del tiempo (Gödel, 2006), (Markosian, 2010), (Yourgrau, 1991), (Wang, 1995), (Sklar, 1977), quizá más robusto que el problema del espacio.

4 El “Argumento del agujero” (Earman and Norton, 1987). Éste se refiere a que para un modelo de relatividad general $\langle M, g_{\mu\nu}, T_{\mu\nu} \rangle$, existe un difeomorfismo d^* (del “agujero”), y una región $D \in M$ donde $d^*: M \rightarrow M$, y tal que d^* sobre D es una aplicación de identidad “afuera y sobre la frontera de D ” pero no “adentro”. El resultado anterior, ya visto por Einstein, se entiende en términos de que si se acepta un *substancialismo* (identidad de los puntos espaciotemporales), entonces debe aceptarse un indeterminismo en la TGR (Earman y Norton 1987). Formalmente, debe haber una correspondencia 1-1 entre el difeomorfismo sobre M y la transformación de coordenadas en un sistema coordinado particular de M , es decir, el difeomorfismo mapea un punto p en un punto d^*p . Basta señalar que muchos de los inconvenientes del “Argumento del agujero” tienen que ver con las posibilidades empíricas de sus consecuencias, debido al indeterminismo en la “región Hole”: D . La conclusión de Earman y Norton (1987) es que si se afirma el *substancialismo*, debe a su vez negarse el determinismo. Un autor como Tim Maudlin (2014) considera que el argumento no tiene que ver con aspectos empíricos, pues sólo habla de una situación posible. Lo mismo afirma Jeremy Butterfield (1989), al plantear que el argumento sólo se refiere a “meras repre-

⁴ Esencia, lo que hace que una entidad posea propiedades. Asimismo, define identidad e individualidad.

sentaciones matemáticas”.

Algunos de los problemas señalados permiten identificar que no existen argumentos suficientes para aceptar que el problema sobre la naturaleza del espacio-tiempo sea un problema resuelto, con lo que surge a su vez la cuestión: ¿se puede seguir asumiendo una postura realista? En la siguiente sección pretendemos dar respuesta a la pregunta, separándonos de las posturas realistas tratadas en la presente.

Bases para un pluralismo ontológico del espacio y el tiempo.

Lombardi y Pérez Ransanz (2012) han configurado una forma de realismo denominado “Pluralismo ontológico” que resulta sumamente fértil en la discusión filosófica sobre el realismo científico y, dado nuestro interés, en la discusión sobre un “realismo respecto a las teorías de espacio y tiempo”.

Las autoras consideran que el problema del realismo no debe atacarse en términos de si existe o no una realidad independiente del sujeto cognoscente, razón más que evidente para asumir una postura realista, o de si tenemos o no teorías que representan fielmente al mundo. Más bien, debemos identificar cómo es que se entiende la relación entre teoría y realidad, para de ahí establecer una postura realista que atienda más claramente al modo en que el trabajo y el conocimiento científicos, en conjunción, permiten configurar una visión objetiva. Lo anterior implicaría alejarse de ciertos aspectos de una visión de “realismo clásico”, la postura según la cual existe una realidad independiente del sujeto cognoscente, y dicha realidad sería una totalidad ya “hecha”, con propiedades y relaciones esenciales, a la vez de que el sujeto tiene acceso a los componentes y estructura últimos de ésta. Dicho realismo supondría que “lo que existe’ no depende, en sentido alguno, de los sistemas conceptuales

del sujeto qua sujeto de conocimiento” (Lombardi y Pérez-Ransanz, 2012, p. 4). Desde la visión de tal realismo, el sujeto cognoscente tendría una posición pasiva en el acto de “conocer el mundo”, y el conocimiento de éste no dependería para nada del carácter constitutivo del sujeto. Por ello, cuando se habla de realismo científico se está configurando una postura que incluye al realismo clásico. De aquí que:

Los realistas científicos creen que la realidad está bien definida de una vez por todas, independientemente de la acción humana y del pensamiento humano, de una manera que puede articularse adecuadamente en el discurso humano. Creen también que el propósito primordial de la ciencia es desarrollar justamente ese género de discurso que articula adecuadamente la realidad -que, como decía Platón, la “corta en sus coyunturas”- y que la ciencia moderna esencialmente está logrando ese propósito (Torretti, 2000, p. 81).

En sus propios términos, el pluralismo ontológico considera que lo objetivo en la ciencia no es independiente del sujeto, sino precisamente aquello que resulta de la confluencia e interacción entre los esquemas conceptuales -propios de las teorías-, y la realidad independiente del sujeto. “La objetividad es un logro, no un fin.” Un realismo de tal cuño aceptaría una pluralidad de ontologías, puesto que los objetos son tanto productos de la mente como del mundo. Esto es, la mente no se limita a copiar un “mundo ya hecho”, pero tampoco es la mente la que crea (hace, genera) al mundo (Lombardi y Pérez-Ransanz, 2012).

Así, las autoras propugnan por un realismo de tipo kantiano (Kant, 2009), (Putnam, 1988, 1994), en cuanto a que el objeto de conocimiento debe ser constituido conceptualmente, pero con total consideración de los aspectos pragmáticos, como parte activa y complementaria del conocimiento del mundo. Su interés

consiste en proponer un realismo con raíces kantianas que permita defender una genuina pluralidad de ontologías (Lombardi y Pérez-Ransanz, 2012). De esta forma, un pluralismo ontológico, entendido como postura realista, se opone a la idea, propia de un realismo clásico, de que existe una única ontología verdadera, y la labor de la ciencia es descubrir dicha ontología. Además, se opone también a concebir que la realidad externa es la responsable de nuestros juicios empíricos, sin considerar la labor del sujeto cognoscente. Y finalmente, se opone al tipo de realismo que mantengan “viva” la cuestión de “qué es lo que realmente existe”. Asimismo, el pluralismo ontológico no niega que exista una realidad independiente del sujeto, lo cual lo acerca al realismo científico. Considera que en ciencia “existen” sólo objetos conceptualmente constituidos, cuyo conocimiento se adapta al esquema conceptual de las teorías, y que produce una idea de verdad y objetividad en términos de adecuación a cada esquema conceptual. “La realidad posee distintos cortes ontológicos”, y cada teoría científica atiende a alguno. No hay una esencia y ontología última en la ciencia.

El pluralismo ontológico ha sido inspirado sobre todo en los trabajos de Hilary Putnam (1988, 1994) y su realismo internalista, y presenta los siguientes rasgos (Lombardi y Pérez Ransanz, 2012), (Castejón, 2018):

Raíces kantianas en sus fundamentos. El objeto que se constituye en la experiencia corresponde a un objeto “conceptualmente constituido”, en contraposición con el “realismo clásico”, donde los objetos de conocimiento son autosubsistentes y autoidentificantes.

Debe aceptarse la relatividad conceptual. Es decir, los conceptos no tienen un significado único o absoluto. Lo que efectivamente se identifica es cómo en la ciencia existen teorías aceptadas pero con esquemas conceptuales distintos. Y no es que sea objetivamente válido

cualquier esquema, sino que la relatividad conceptual se refiere a que hay teorías que comparten el mismo esquema conceptual, y otras que poseen el propio.

Se considera una pluralidad de ontologías, sin por ello caer en el relativismo. Recordemos que una ontología obedece a un sistema conceptual, vinculado a su vez a una teoría científica. (Ver la sección anterior, con respecto al concepto de “ontología primitiva”).

En cada ontología, propia de una teoría científica, tanto los entes observables como los no observables poseen el mismo estatus ontológico.

Al haber distintas ontologías, en relación con las teorías científicas, no se acepta que exista un único nivel ontológico privilegiado, como lo concibe un realismo científico clásico.

El pluralismo ontológico no es nominalista. Cada esquema conceptual define sus propios ítems, constituyendo su propia ontología.

La verdad se entiende como adecuación, pero en términos de adecuación acorde a una teoría, que atiende a un sistema conceptual. ¿Puede afirmarse verdad en física newtoniana, en relatividad general? Sí, siempre y cuando dicha verdad se adecue a la ontología propia de cada teoría.

Lo que ha de entenderse por esquema conceptual (“sistema de categorías y conceptos de clase”), es previo a la teoría, es decir, cada teoría presupone un esquema conceptual, y éste puede ser anterior a una o más teorías, a la vez: dos o más teorías pueden presuponer el mismo esquema conceptual.

Hay una relación interteórica entre dos o más teorías, ya sea de tipo reduccionista, emergente, al límite, etc.

Si en términos kuhnianos (Kuhn, 1962), se pueden suponer dos tipos de cambios teóricos: (1) Normal. Una teoría sucesora llega a introducir una reformulación de su teoría antecesora, pero atendiendo al mismo esquema conceptual; (2) Revolu-

cionario. La teoría sucesora presupone un esquema conceptual distinto al de la teoría antecesora, y tal que ambas poseen distintas ontologías.

Hay lugar para la inconmensurabilidad, entendida como aquella relación entre teorías que poseen ontologías distintas.

Resulta sumamente relevante el aspecto pragmático, la práctica científica, es decir: teoría y práctica no son independientes, sino interdependientes. “Las prácticas de manipulación, control, transformación y producción de nuevos fenómenos son centrales en la aceptación de ciertos ítems como existentes y de ciertos enunciados como verdaderos: las creencias que consideramos verdaderas, así como las entidades a las que se refieren, son aquellas que se fijan en las prácticas exitosas” (Lombardi y Pérez-Ransanz, 2012).

El pluralismo ontológico es una postura legítimamente realista puesto que es compatible con el hecho de que en el ámbito científico existen distintas teorías con ontologías propias, algunas incompatibles entre sí. Dígase, por ejemplo, las dos grandes teorías de la física moderna: la relatividad general y la mecánica cuántica, ambas igualmente legítimas y objetivas, y aceptadas por la comunidad científica. Sin embargo, dicho pluralismo ontológico no propugna por un relativismo epistémico, axiológico, en el que cualquier ontología sería igualmente válida y efectiva. En la ciencia cada ontología tiene sus propias restricciones, lo importante es que precisamente hay diversas ontologías que sirven de fundamento a distintas teorías, dotando de consistencia teórica y empírica a éstas, a pesar de que a veces la ontología de una teoría y la de otra sean incompatibles.

Cabe resaltar que con relación a las teorías de espacio y tiempo, caso específico: la teoría de la gravitación universal (TGU) y la teoría general de la relatividad (TGR), éstas pueden verse como un

ejemplo de teorías de espacio y tiempo que fundamentan lo que aquí podemos llamar un “pluralismo ontológico del espacio y el tiempo”. En parte, se atiende a dicha postura realista dado el estado en que ciertos aspectos incompatibles de las dos grandes teorías de espacio y tiempo poseen con respecto a la naturaleza de estas entidades. Esto es, si se desea responder la pregunta: ¿el espacio y el tiempo existen?, no es necesario atender a si una u otra teoría es la que mejor da cuenta de dicha cuestión, pues los aspectos ontológicos de tales entidades en cada una de las teorías, difieren.

Así, aplicando el enfoque de pluralismo ontológico a las teorías mencionadas (ver Castrejón, 2018):

(1) La teoría de la gravitación universal (TGU) y la teoría general de la relatividad (TGR) son teorías de espacio y tiempo con ontologías distintas, y con esquemas conceptuales distintos.

(2) Ontológicamente, los conceptos de espacio y tiempo en la TGU y en la TGR son distintos. En la TGU espacio y tiempo son absolutos, a la vez de que se consideran entidades separadas; en la TGR, atendiendo a la entidad espaciotiempo que postula, puede sustentarse un realismo de espacio y tiempo ya sea como sustancias o como relaciones entre sustancias, a la vez de que el espacio y el tiempo poseen un carácter dinámico, y no son entidades separadas.

(3) La evidencia empírica de ambas teorías es distinta, a pesar de que haya ciertos aspectos, como el corrimiento del perihelio de Mercurio, que ambas teorías predicen, una de manera más precisa que la otra (Will, 1993). Pero asimismo, los objetos empíricamente constituidos atienden a su propio esquema conceptual.

(4) La relación entre dichas teorías es una “relación por paso al límite”. Lo que corresponde a una relación interteórica entre las teorías. Por ejemplo: la mecánica newtoniana es una *aproximación* de la

relatividad especial; la gravitación universal es una *aproximación* de la TGR. Con lo que puede establecerse la relación, atendiendo al esquema de Fritz Rohrlich (1988), tal que: “Dadas dos teorías T_1 y T_2 , puede definirse un cierto parámetro característico p como cociente entre los valores de dos variables de igual dimensión, ambas pertenecientes a T_1 , de modo tal que la formulación matemática $M(T_2)$ de T_2 se obtiene aplicando el límite matemático $p \rightarrow 0$ a la formulación matemática $M(T_1)$ de T_1 : $\lim_{p \rightarrow 0} M(T_1) = M(T_2)$. De este modo, el parámetro característico p , que pertenece a $M(T_1)$, desaparece en $M(T_2)$ ” (Lombardi y Pérez-Ransanz, 2012).

(5) Hay inconmensurabilidad entre ambas teorías, y parte de sus aspectos empíricos son distintos, de acuerdo a su propio esquema conceptual.

(6) La verdad se adecúa a las caracte-

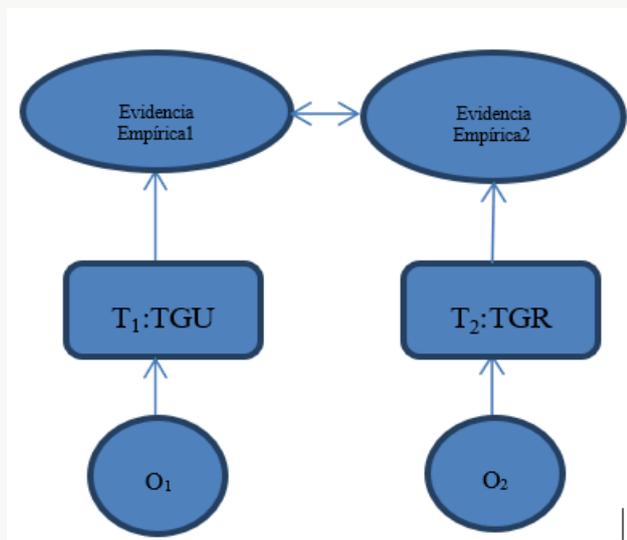


Figura 1. Esquema del pluralismo ontológico entre la TGU y la TGR.

terísticas de cada teoría.

En atención al tipo de relación al límite, puede decirse que ésta existe entre la gravitación universal de Newton y la TGR cuando, por ejemplo, se hacen ciertas suposiciones en los tensores de Ricci, métrico y de distribución de materia-energía de las ecuaciones de campo de Einstein (ecs. 2, sección 2), y se obtiene la ecuación de la gravitación universal

de Newton.

Dado todo lo anterior, se puede esquematizar el pluralismo ontológico del espacio y el tiempo entre la teoría de la gravitación universal (TGU) y la teoría general de la relatividad (TGR) que se muestra en la figura 1.

Cabe señalar que un “pluralismo ontológico del espacio y el tiempo” es una postura realista que acepta que cada teoría de espacio y tiempo posee su propia ontología. Como ya se mencionó, dicho realismo considera que “la realidad posee distintos cortes ontológicos”, de manera que cada teoría que construye una ciencia, tiene acceso a un cierto “corte ontológico”. Así, ontológicamente hablando, el espacio y el tiempo son distintos en la TGU y en la TGR. Cada teoría da cuenta de un determinado “corte ontológico”, y no es que sea más relevante mostrar que una sea falsa y la otra verdadera, o más amplia o más restringida, simplemente: la realidad se “deja ver” así, como la representan una u otra.

¿Puede hablarse de un pluralismo ontológico en la TGR?

En esta sección me centro en discutir alrededor de la idea de si podría identificarse un pluralismo ontológico en el marco de la TGR. Esto de una u otra forma nos enfrenta con lo que se ha dado en llamar “realismo semántico”, y por extensión al realismo estructural. Dado que en tales posturas se le da una prioridad a las condiciones formales, matemáticas (Miller, 2016) de una teoría, caracterizada en modelos (Moulines, 1997), y que para el caso de la variedad espaciotiempo, implicaría que un modelo de la TGR, representado ya sea en una u otra estructura matemática, sea ésta geométrica o no, “representa literalmente” al espaciotiempo físico (Bain, 2008).

Con respecto a lo anterior, si como Einstein supuso: el universo es geométrico, ¿esto implicaría que la única represent-

ación objetiva del espaciotiempo es la geométrica?

Así, Ruy Utiyama (1956) mostró que la TGR es una “teoría de norma” (gauge theory) asociada al grupo de Lorentz, y tal que da pauta a identificar que el lenguaje descriptivo de la TGR no es único, pues puede considerarse al campo gravitacional como una variedad riemanniana (enfoque geométrico) o como un “campo normado” (enfoque de espacios abstractos).

Todo esto nos llevaría a la cuestión: ¿la descripción del espaciotiempo en términos geométricos, implica una condición intrínseca para entender la naturaleza del espaciotiempo, y de ahí, del espacio, del tiempo? Así, el resultado de Utiyama se dirige a desarrollar la deducción de las ecuaciones de campo de Einstein en el contexto de una “teoría de norma”. “Las teorías gauge (normadas) están basadas en dos conceptos matemáticos fundamentales, desarrollados alrededor del siglo XIX: los espacios matemáticos abstractos y la teoría de grupos continuos de transformaciones” (Hacyan, 2009, p. 7). Los espacios abstractos pueden definirse sin apelar a sistemas de coordenadas; los grupos continuos de transformaciones en espacios abstractos, generalizan los conceptos de rotación y traslación de cuerpos materiales, en atención a las reglas del movimiento en espacios euclidianos o no euclidianos. Lo importante es que puede obtenerse una generalización del movimiento (global), es decir, las ecuaciones dinámicas, a partir de una simetría particular (local), que puede ser descrita en alguna álgebra no conmutativa, que forma un grupo de Lie⁵.

De lo anterior, la formulación de Utiyama mostró que puede darse una correspondencia entre el “Tensor de Riemann”

y un campo tensorial A en el espacio abstracto, y derivar de aquí las ecuaciones de campo de Einstein. Lo que implicaría, entre otras cosas, que el lenguaje descriptivo (geométrico), con el que se presentan las ecuaciones de campo de Einstein, no es el único posible. En efecto, el campo gravitacional puede considerarse como una variedad riemanniana o como un campo normado. De aquí que puede especularse acerca de si la geometría “intrínseca” con que suele describirse la realidad, configurada por la TGR, realmente es la explicación verdadera, entre otras cosas, de la naturaleza del espaciotiempo, y de ahí derivar las nociones de espacio y tiempo; o sólo es un “modelo de mundo” más. Dado que la explicación del campo gravitacional como un campo normado también sería un “modelo de mundo” más. En este sentido, cada uno de estos “modelos de mundo” proyecta una ontología distinta, respecto a lo que “es el espaciotiempo”. Lo que deseo señalar aquí es que el resultado de Utiyama permite sustentar la cuestión: ¿la geometría es la descripción verdadera del espaciotiempo físico, y por tanto, ésta adquiere un sentido óntico, o sólo es una representación, entre otras, del espaciotiempo?

Con respecto a lo anterior, como se señaló en secciones pasadas, por ejemplo, desde el realismo estructural del espaciotiempo, Jonathan Bain (2006) ha identificado algunos aspectos del estatus ontológico del espaciotiempo, desde la perspectiva de la teoría clásica de campos, en tres formulaciones matemáticas, que no se sustentan en una variedad diferenciable cuatridimensional: la teoría twistor, las álgebras de Einstein y el álgebra geométrica. Parte del objetivo de Bain tiene que ver con identificar si precisamente puede sostenerse un “realismo semántico” con respecto al estatus ontológico del espaciotiempo, y demostrar a su vez que lo que se preserva es la estructura, no una ontología específica.

⁵ Un álgebra conmutativa es una rama de las álgebras abstractas, enfocada al estudio de los anillos conmutativos, esto es, estructuras algebraicas donde pueden definirse operaciones conmutativas entre los elementos de dicha estructura.

ca. Cabe señalar que el sustento de un realismo semántico estriba en considerar que si uno o más modelos de una teoría, representan una realidad física, entonces se puede ser realista con respecto a la ontología de la teoría. Para ello debe haber un isomorfismo entre los modelos, es decir, una total correspondencia entre los elementos de cada modelo. Sin embargo, a tenor de Bain, el caso anterior no es del todo posible, por ejemplo, entre la formulación clásica de la teoría de campos (en una variedad cuatridimensional, enfoque geométrico), considerando a los campos como tensores, y la teoría de twistor. Entonces ¿cómo puede jugar esto con relación a ser realista semántico con respecto al espaciotiempo? Sin embargo, la conclusión de Bain es que se debe atender a una postura de realismo estructural, donde la prioridad ontológica la tiene la estructura, no la “representación” del objeto espaciotiempo en una u otra formulación matemática. Aunque, formalmente, si no hay una total correspondencia entre distintas formulaciones de una teoría (es decir, un isomorfismo), que a su vez proyectan ontologías distintas, ¿cómo puede aceptarse que lo que se conserva es la estructura?

Si bien, establecer distintas formulaciones matemáticas de una teoría, ha sido una característica importante en la física, una cuestión de fondo surge cuando no hay una correspondencia entre las distintas formulaciones. En caso de las consecuencias con la formulación de Utiyama, la cuestión se refiere al estatus ontológico del espaciotiempo dentro del marco epistémico de la TGR. De esta forma, dicha formulación permite identificar una exacta correspondencia entre el tensor de Riemann y el campo tensorial A , pero este campo yace sobre un espacio abstracto, y a su vez, el autor llegó a obtener las ecuaciones de campo en dicho espacio. ¿Será que el lenguaje descriptivo del espaciotiempo, en términos de la geometría riemanniana de 4 dimensiones,

es una mera convención, puesto que no es el único lenguaje descriptivo del espaciotiempo?

Lo que es un hecho es que existen ciertos lenguajes descriptivos, matemáticamente hablando, del espaciotiempo, con los cuales pueden reproducirse ciertas realidades físicas plausibles, pero cuyo estatus ontológico de tal entidad es distinto⁶. ¿Podemos así ser realistas con respecto a la entidad básica de la TGR, el espaciotiempo, asumiendo ya sea un realismo tipo substancialista o relacionista?, ¿existen razones suficientes para adoptar “una forma de realismo estructural del espaciotiempo”, donde no se es ni substancialista (no hay un acuerdo con respecto a la existencia de los puntos espaciotemporales), ni relacionista (negando la realidad del espaciotiempo, por la realidad de los campos y materia), y concebir que el espaciotiempo sólo es una estructura real “encarnada” en el mundo, pero no necesariamente geométrica? Puede que la opción más viable, para ser realistas con el espaciotiempo, en el marco epistémico de la TGR, la ofrezca una *aproximación pluralista*.

Con respecto a la formulación de Utiyama, y atendiendo a las características del pluralismo ontológico desarrollado en la sección anterior, puede formularse el siguiente esquema mostrado en la figura 2.

Cabe señalar que únicamente se plantea el esquema a nivel especulativo, como una posibilidad para identificar un pluralismo ontológico dentro del mar-

⁶ Con relación a este problema, fue Roger Jones (1992) quien planteó lo que se conoce en la literatura como la “Jones Undetermination”, en contra del realismo científico. Jones sentencia que la existencia de los distintos formalismos de una teoría, que difieren en el nivel de su ontología, precisamente *indetermina* el argumento semántico realista de interpretar literalmente a las teorías, lo que de manera extensiva también impacta en las tesis del realismo estructural como el de Bain. Andrés Rivadulla (2010) ha tratado también este aspecto, sobre todo en términos de una tesis fuerte del realismo estructural, que el autor llama “un dogma del realismo estructural”: la conservación de las estructuras respecto al cambio teórico en ciencia.

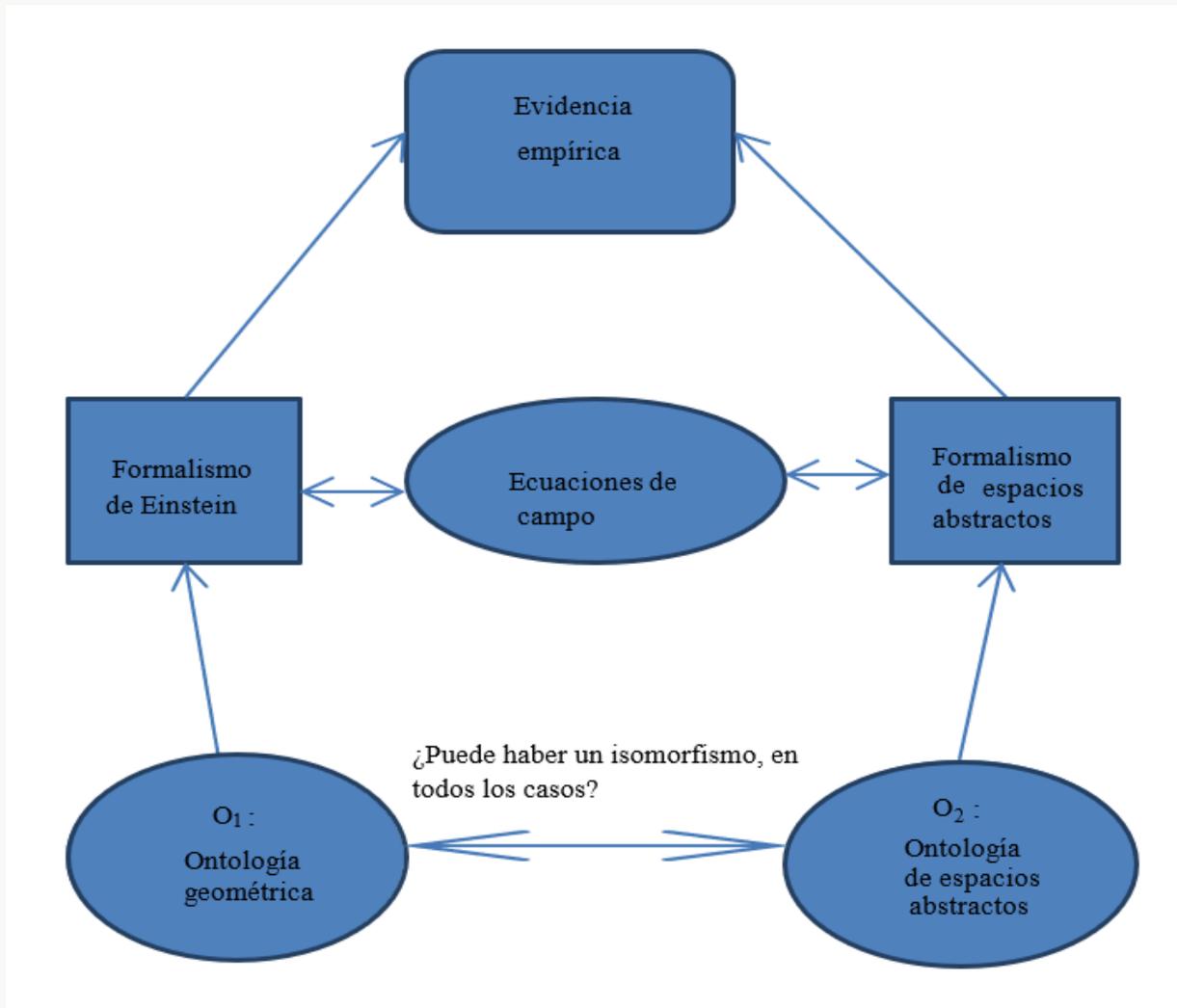


Figura 2. Esquema sobre un posible pluralismo ontológico en el contexto de la TGR.

co epistémico de la TGR. La evidencia teórica permite precisamente dar pauta a ello, puesto que podríamos configurar esquemas similares con otro tipo de formulaciones matemáticas de la TGR. Asimismo, ya se ha identificado que no necesariamente puede encontrarse una correspondencia (isomorfismo) entre las distintas formulaciones de la TGR, que poseen a su vez, distinta ontología. Surgirían muchas cuestiones, sobre todo vinculadas a qué serían el espacio y el tiempo en la formulación de Utiyama, o qué tipo de observables se podrían establecer en dicho enfoque. Finalmente, surgen de nuevo cuestiones como: ¿la geometría es la descripción verdadera del espaciotiempo físico, y por tanto, ésta adquiere un sentido óptico?, ¿el espaciotiempo es

una entidad matemática o una entidad física?

Conclusiones.

El problema del realismo sobre el espaciotiempo está lejos de ser un problema resuelto. Si bien, pueden darse razones a favor de una postura substancialista o relacionista, a la vez de otro tipo de posturas realistas como la semántica o la estructuralista, sin embargo, como hemos visto, cada una tiene sus propios inconvenientes. Con esto, puede identificarse que dentro de la misma teoría (TGR) conviven distintas concepciones ontológicas, las cuales puede que no afecten el poder explicativo de la teoría, pero aun así, inciden directamente en ciertas problemáti-

cas filosóficas que la misma teoría trae a colación. A su vez, la no unicidad de los conceptos de espacio y tiempo en la TGR, a pesar de su poder explicativo en términos de la entidad espaciotiempo, permite plantear las cuestiones: ¿el espaciotiempo existe, es un ente del mundo, o sólo corresponde a una variable de la TGR? ¿La mejor *aproximación* al problema de la naturaleza del espacio y el tiempo, la ofrece el pluralismo ontológico?

Con el esquema realista tipo pluralismo ontológico, pudimos identificar que existe un genuino pluralismo ontológico del espacio y el tiempo entre dos teorías: la gravitación universal y la relatividad general. Asimismo, se especuló sobre la posibilidad de que en el marco epistémico de la relatividad general, podría identificarse un pluralismo ontológico.

El problema sobre la naturaleza del espacio y el tiempo, de si éstos son entes del mundo, parece ser todavía un problema abierto, sin embargo, consideramos que la mejor manera de ser realistas con respecto a dichos entes, la ofrece una *aproximación* pluralista. Quizá, el espaciotiempo sea una entidad que existe, aunque, ¿existe como entidad matemática, como entidad física, como estructura?

Referencias

- Abbagnano, N. (2000) *Diccionario de filosofía*. México: F.C.E.
- Alexander, H. G. (1984) *The Leibniz-Clarke Correspondence (1717)*. New York: Barnes and Noble.
- Allori, V. (2013) "Primitive Ontology and the Structure of Fundamental Physical Theories" En *The Wave Function. Essays on the Metaphysics of Quantum Mechanics*, edited by A. Ney and D. Z. Albert. New: York: Oxford University Press.
- Bain, J. (2006) "Spacetime Structuralism". In *The Ontology of Spacetime*, edited by Dennis Dieks. The Netherlands: Elsevier, 37-66.
- Brown, H. R. (2005) *Physical Relativity: Spacetime Structure from a Dynamical Perspective*. Oxford: Clarendon Press.
- Butterfield, J. (1989) "The Hole Truth", *British Journal for the Philosophy of Science* 40 (1).
- Castrejón, G. (2018) "¿El espaciotiempo es un ente del mundo? Bases para un pluralismo ontológico del espacio y el tiempo". *Actas del IV Congreso Iberoamericano de Filosofía de la Ciencia y la Tecnología*, editado por Ana Cuevas Badallo et al. Salamanca, España: Ediciones Universidad de Salamanca, 412-420.
- Dainton, B. (2010) *Time and Space*. U.K.: McGill Queen's University Press.
- Dieks, D. (2006) *The Ontology of Spacetime*. The Netherlands: Elsevier.
- _____. (2008) *The Ontology of Spacetime II*. The Netherlands: Elsevier.
- DiSalle, R. (2008) *Understanding Space-Time*. New York: Cambridge University Press.
- Dorato, M. (2008) "Is Structural Spacetime Realism Relationism in Disguise? The Supererogatory Nature of the substantivalism/Relationism Debate". In *The Ontology of Spacetime II*, edited by Dennis Dieks. The Netherlands: Elsevier, 17-38.
- Earman, J. (1989) *World Enough and Space-Time. Absolute versus Relational Theories of Space and Time*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Earman, J. and Norton, J. (1987) "What Price Spacetime Substantivalism? The Hole Argument". *The British Journal for the Philosophy of Science*, 4 (38), 515.
- Einstein, A. (2005) *Fundamentos de la teoría de la relatividad general*, en *Einstein: Obra esencial*. Barcelona: Crítica.
- Friedman, M. (1983) *Foundations of Space-Time Theories. Relativistic Physics and Philosophy of Science*. Princeton: Princeton University Press.

- Gödel, K. (2006) *Obras completas*. Madrid: Alianza Editorial.
- Hacking, I. (1996) *Representar e intervenir*. México: Paidós.
- Hacyan, S. (2009) “Geometry as an Object of Experience: Kant and the Missed Debate Between Poincaré and Einstein”, *European Journal of Physics* 30, 337.
- _____. (2013) *Relatividad para estudiantes de física*. México: F.C.E.
- Hofer, C. (1996) “The Metaphysics of Spacetime Substantivalism”, *Journal of Philosophy* 93, 5.
- Horwich, P. (1982) “Three forms of realism”, *Synthese* 51, 181.
- Huggett, N. and Hofer, C. (2009) “Absolute and Relational Theories of Space and Motion”, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Fall Edition. Recuperado de: <http://plato.stanford.edu/archives/fall2009/entries/spacetime-theories/>.
- Jones, R. (1991) “Realism about what?” *Philosophy of Science* 58, 185–202.
- Kant, I. (2009) *Crítica de la razón pura*. México: F.C.E.
- Kuhn, T. S. (1962) *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Ladyman, J. and Ross, D. et. al (2007) *Every Thing Must Go. Metaphysics Naturalized*. New York: Oxford University Press.
- Lombardi, O. y Pérez Ransanz, A. R. (2012) *Los múltiples mundos de la ciencia*. México: Siglo XXI Editores.
- Markosian, N. (2010) “Time”, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition. Recuperado de: <http://plato.stanford.edu/archives/win2010/entries/time/>.
- Maudlin, T. (1989) “The Essence of Space-Time”. In *Proceedings of the Philosophy of Science Association Meetings, vol. 2*, A. Fine and J. Leplin (comps.). Philosophy of Science Association, East Lansing.
- _____. (2014) *Filosofía de la física I. Espacio y tiempo*. México: F.C.E.
- Misner, C. W., Thorne, K. S. and Wheeler, J. A. (1973) *Gravitation*. USA: W. H. Freeman and Company.
- Miller, A. (2016) “Realism”, *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Winter Edition, 2016. Recuperado de: <https://plato.stanford.edu/entries/realism/>.

- Montesinos, M. (2007) "El problema del tiempo en la relatividad general", *Rev. Mex. Fis.* S 52 (2), 68.
- Moulines, C. U. (1997) "¿Nos encamina el progreso científico hacia un único universo?" En *Racionalidad y cambio científico*, editado por A. Velasco Gómez. México: Paidós.
- Petkov, V. (2009) *Relativity and the Nature of Spacetime*. Dordrecht: Springer.
- Poincaré, H. (1952) *Science and Hypothesis*. New York: Dover Publications, Inc.
- Pooley, O. (2013) "Substantialist and Relationalist Approaches to Spacetime". In *Philosophy of Physics*, edited by Robert Batterman. New York: Oxford University Press, 522-586.
- Putnam, H. (1988) *Razón, verdad, historia*. Madrid: Tecnos.
- _____. (1994) *Las mil caras del realismo*. Barcelona: Paidós.
- Rickles, D. (2008) *Symmetry, Structure and Spacetime*. The Netherlands: Elsevier.
- Rivadulla, A. (2010) "Two dogmas of structural realism. A confirmation of philosophical death foretold". *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* 42 (124), 3-29.
- Rohrlich, F. (1988) "Pluralistic Ontology and Theory Reduction in the Physical Sciences". *The British Journal of Philosophy of Science* 39, 295.
- Rovelli, C. (2008) "The Disappearance of Space and Time". In *The Ontology of Spacetime*, edited by Dennis Dieks. The Netherlands: Elsevier.
- Rynasiewicz, R. (1996) "Absolute versus Relational Space-Time: An Outmoded Debate?", *Journal of Philosophy* 43, 279.
- Stachel, J. (1993) "The Meaning of General Covariance". In *Philosophical Problems of the Internal and External Worlds: Essays of the Philosophy of Adolf Grünbaum*, edited by J. Earman et. al. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 129-162.
- Utiyama, R. (1956) "Invariant Theoretical Interpretation of Interaction". *Phys. Rev.* 161, 1597.
- Wald, R. M. (1984) *General Relativity*. Chicago: University of Chicago Press.
- Wang, H. (1995) "Time in Philosophy and in Physics from Kant and Einstein to Gödel", *Synthese* 102 (2), 215.
- Will, C. M. (1993) *Theory and Experiment in Gravitational Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Yourgrau, P. (1991) *The Disappearance of Time*. Cambridge: Cambridge University Press.