

EINSTEIN Y LA REALIDAD DEL ESPACIO: REALISMO Y CONVENCIONALISMO*

Germán Guerrero Pino[†]

Universidad del Valle

«¿Qué se debe pensar de esta pregunta? ¿Es verdadera la geometría euclídeana? La pregunta no tiene ningún sentido... Una geometría no puede ser más verdadera que otra; solamente puede ser más *cómoda*»
H. Poincaré (1902)

«El problema de si el continuo tiene una estructura euclídea, riemanniana u otra de naturaleza distinta, es una cuestión estricta de la física, que ha de ser contestada por la experiencia y no una cuestión de convención elegida sobre la base de la mera conveniencia»
A. Einstein (1921)

RESUMEN

En este artículo presento una reflexión filosófica alrededor de las implicaciones ontológicas sobre la realidad física del espacio-tiempo y, como complemento a lo primero, sobre la relación entre teoría y experiencia en las teorías de la relatividad especial y general de Einstein. Así, el objetivo es doble: primero, ilustrar el debate entre realistas y convencionalistas respecto a la realidad del espacio-tiempo, el cual, en lo fundamental, puede retrotraerse hasta el debate Newton/Leibniz sobre la realidad del espacio y el tiempo absolutos; segundo, a partir de lo anterior y dentro de ese contexto, reflexionar sobre la relación que guardan las teorías físicas con la realidad.

Palabras clave: Einstein, Poincaré, espacio-tiempo, realismo, convencionalismo, verdad y adecuación empírica.

ABSTRACT

In this paper I expose a philosophical reflection about two issues that are closely related: the first one, the ontological implications on the physical reality

* **Recibido** Enero de 2006; **aprobado** Marzo de 2006.

[†] Este trabajo se enmarca dentro del proyecto de investigación aprobado y financiado por la Universidad del Valle, que actualmente me encuentro adelantando, y es una versión mejorada de mi artículo "El debate convencionalismo/realismo en el contexto de la teoría de la relatividad", publicado en las memorias del *Simposio Internacional Einstein: científico, filósofo y humanista. Centenario de una visión del mundo*, noviembre 28 a diciembre 2 de 2005, Programa Editorial Facultad de Humanidades, Universidad del Valle.

of space-time and, the second one, the relation between theory and experience, both of them in the context of Einstein's special and general theory of relativity. So I have him two aims. First, I explain the realism and conventionalism debate concerning the physical reality of space-time and, second, I consider the physics theory-reality relationship. I examine these questions taking into account the Newton/Leibniz discussion on reality of the absolute space and the absolute time, and then from the relativistic view-point.

Keywords: Einstein, Poincaré, space-time, realism, conventionalism, truth and empirical adequacy.

1. Introducción

El presente escrito no presenta en sentido propio un problema de la física teórica sino una reflexión filosófica centrada en ciertos aspectos de la teoría de la relatividad: las implicaciones ontológicas que de ella se pueden extraer sobre el espacio-tiempo y la relación entre teoría y realidad, como complemento a lo primero. Así, mi objetivo es doble, aunque el tema sea único. Primero, ilustrar el debate entre convencionalistas y realistas respecto a la realidad del espacio-tiempo, el cual, en lo fundamental, puede retrotraerse hasta el debate Newton/Leibniz sobre la realidad del espacio absoluto y el tiempo absoluto. Segundo, a partir de lo anterior y dentro de ese contexto, reflexionar sobre la relación que guardan las teorías físicas con la realidad.

Las anteriores inquietudes también se pueden expresar en los siguientes términos. ¿Hasta dónde están determinadas las teorías científicas por la observación y la experiencia? ¿Las teorías son un fiel reflejo de la realidad y llegamos a ellas por un proceso paulatino de abstracción a partir de la experiencia? O, por el contrario, ¿las teorías se basan en principios lógicos que condicionan toda nuestra experiencia, de tal modo que no podemos concebir principios contrarios a ellos, ni tener experiencias que los contradigan? En el primer caso apoyamos un **empirismo extremo** y en el segundo un **apriorismo de tipo kantiano**, pero en ambos casos nos encontramos con una coincidencia entre teoría y realidad. En el empirismo la experiencia se impone y en el apriorismo la razón domina.

Tenemos vías intermedias a las anteriores, cuya formulación no es tan simple, y que defenderían que las teorías contienen muchos elementos conceptuales que son libres construcciones de la mente humana; de modo que la pregunta que surge es ¿qué tan vinculadas se encuentran estas construcciones conceptuales con la realidad, una vez que se ha confirmado suficientemente bien la teoría? En este punto encontramos dos alternativas: una es la que prefieren los realistas, si contamos con suficiente evidencia a favor de la teoría, entonces hemos de admitir que sus construcciones

conceptuales refieren al mundo (veremos que Einstein se aproxima a esta posición en lo que tiene que ver con su concepción sobre el espacio); la otra, que podemos llamar antirrealismo, es la que defienden los empiristas, y dice así: aunque la teoría esté bien confirmada, en la mayoría de los casos, no tenemos evidencia suficiente para concluir que los constructos conceptuales hablan del mundo (veremos que el convencionalismo de Poincaré, en lo referente al espacio, está más próximo a esta vía).

Esto es en términos de teorías, pero en los términos concretos del espacio o de la geometría, entendiendo a esta como el estudio del espacio, la anterior reflexión toma la siguiente forma. La cuestión general que surge es ¿qué tan relacionado está el concepto de espacio (de la teoría general de la relatividad, si se quiere) con la experiencia? O, en términos de la geometría, ¿de dónde proceden los primeros principios de la geometría?, ¿cuál es la naturaleza de los axiomas geométricos?

En la línea empirista estaríamos dispuestos a afirmar que el espacio se nos revela a nuestros sentidos o a nuestras observaciones y experiencias o, lo que es equivalente, que la geometría deriva de la experiencia. En la línea apriorista, en cambio, afirmaríamos que las propiedades del espacio o los principios de la geometría son impuestos por la razón. Veremos que Einstein propone en este asunto una vía intermedia que se aproxima al realismo al afirmar que si bien el espacio es un constructo teórico, tenemos muy buenas razones para creer que este se corresponde con un elemento de la realidad. En tanto que el convencionalismo de Poincaré defenderá que el espacio es un constructo teórico que no tiene un correlato en el mundo, aunque hablamos como si así fuera.

En otros términos, podríamos decir que la ponencia gira en torno a la pregunta ¿es la observación la que en últimas decide cómo es realmente la geometría del mundo?, y presenta las principales respuestas dadas a la misma, ubicándolas en el espectro marcado por las dos posturas extremas, realismo y convencionalismo, en el marco de la teoría de la relatividad.

De acuerdo con el convencionalismo de Poincaré, debemos concluir que no hay nada en los hechos u observaciones implicadas en las teorías especial y general de la relatividad que nos permita determinar la geometría correcta del espacio físico del mundo o, de manera más concreta, elegir entre las siguientes dos hipótesis: una geometría real no-euclídea del espacio físico o un mundo euclídeo con campos distorcionantes que afecten incluso a los aparatos de medida idealizados. De acuerdo con Poincaré, nos corresponde a nosotros decidir qué descripción dar al mundo, la verdadera geometría del mundo es una cuestión de decisión o convención por parte nuestra.

Por su parte, el realista parte de admitir que las teorías del espacio-tiempo proponen verdaderamente estructuras reales del mundo, pero estas

estructuras son inobservables. Con el propósito de no caer en un escepticismo a la hora de enfrentar el reto de Poincaré, y ante la imposibilidad de dirimir la disputa sobre la base de una diferencia de compatibilidad con los datos observables, los realistas acuden a criterios que tienen que ver con las características de las teorías usadas, para finalmente concluir que si la teoría está suficientemente bien confirmada, debemos aceptar la existencia de las entidades inobservables postuladas, y en particular, la existencia del espacio-tiempo. Veremos una crítica importante a esa salida, que hace uso de la tesis de la indeterminación empírica de las teorías.

2. El espacio absoluto newtoniano: un enfoque realista

Un buen punto para comenzar esta reflexión sobre la estructura geométrica del espacio físico son los planteamientos hechos por Isaac Newton sobre el espacio en su gran obra *Principios matemáticos de la filosofía natural* (1687).

134 En el “Escolio” sobre el espacio y el tiempo, Newton presenta, desarrolla y sustenta, en parte, su concepción de espacio absoluto¹. Decimos que para Newton el espacio es absoluto porque existe a la manera como existen los cuerpos físicos (el espacio es tan real como estos), pero en forma independiente de estos. Además, este espacio trasciende, o va más allá de, la información que nos proporcionan los sentidos y la experiencia; el espacio es inobservable.

Para Newton, hay que diferenciar entre **espacio aparente** (relativo) y **espacio real** (verdadero): el espacio aparente nos lo proporcionan los sentidos en tanto que el espacio real es el espacio absoluto, tal y como él lo concibe. El espacio físico absoluto de Newton tiene las siguientes características.

a) «El espacio absoluto, tomado en su naturaleza, sin relación a nada externo, permanece siempre similar e inmóvil»². El espacio está en reposo absoluto (o con un movimiento rectilíneo uniforme) y no sufre ningún tipo de modificación, es un agente que actúa por sí mismo pero sobre el cual no se puede actuar.

b) «Todas las cosas están situadas... en el espacio según el orden de situación»³. En términos ontológicos, el espacio es anterior a los cuerpos: no

¹ En lo que sigue de la exposición sobre Newton sólo hago referencia explícita al espacio, que es el tema que aquí interesa, pero no hay que perder de vista que dentro del sistema de la mecánica de Newton la noción de tiempo absoluto desempeña un papel tan fundamental como la de espacio absoluto.

² Newton [1687], p. 229.

³ *Ibid.*, p. 231.

sólo los contiene a todos, sino que seguiría existiendo aun cuando todos ellos desaparecieran.

c) Es inobservable, «las partes del espacio no pueden verse o distinguirse de otras mediante nuestros sentidos»⁴, «es realmente difícilísimo descubrir y distinguir de modo efectivo los movimientos verdaderos y los aparentes de los cuerpos singulares, porque las partes del espacio inmóvil donde se realizan esos movimientos no son observables por los sentidos»⁵.

Por tanto, el espacio es muy parecido a un cuerpo material pero de naturaleza un tanto etérea, y éste puede pensarse como vacío, pero los cuerpos no pueden existir fuera del espacio. Finalmente, no hay duda en que Newton tiene la convicción de que si se dieran las condiciones físicas necesarias podríamos tener acceso de un modo sensible o por medio de experimentos al espacio absoluto, pues nos dice: «es posible que en las región de las estrellas fijas, o aún más lejos, pueda existir algo que esté en absoluto reposo»⁶.

Ahora bien, ¿qué es lo que lleva a Newton a defender esta particular concepción del espacio? Bien podría decirse que esta imagen particular del espacio desarrollada por Newton coincide bastante bien con la que uno se forma de manera un tanto intuitiva; pero lo cierto es que, desde un punto de vista conceptual, tenemos que decir lo contrario: los conceptos y principios sobre los cuales Newton levanta la mecánica, lo llevan a pensar en un espacio absoluto. Newton se ve en la necesidad lógica⁷ de adjudicar una existencia independiente y real al espacio físico por la importancia que tiene dentro de su sistema la noción de reposo o, si se quiere, la de movimiento rectilíneo uniforme o, también si se quiere -dada la estrecha relación conceptual de estas tres nociones-, la de aceleración. Estas nociones, y por supuesto en conjunción con las leyes, implican que es posible determinar ya sea el reposo o la velocidad o la aceleración de un cuerpo en términos absolutos; o, a la inversa, las leyes de Newton no tendrían ningún sentido sin el concepto de

⁴ *Ibíd.*

⁵ *Ibíd.* p. 234.

⁶ *Ibíd.* p. 231. John Keill, de la Universidad de Oxford y uno de los primeros defensores de la física newtoniana de la época, hace la siguiente descripción del espacio absoluto de Newton, bastante llamativa: «concebimos que el espacio es aquello donde se colocan todos los cuerpos... que es enteramente penetrable, recibiendo a todos los cuerpos en él, y no negando el acceso a ningún tipo de cosa; que está inalterablemente fijo, incapaz de ninguna acción, forma o cualidad; cuyas partes no es posible separar una de otras, por grande que sea la fuerza que se aplique; más el espacio, siendo él mismo inmóvil, acepta las sucesiones de las cosas en movimiento, determina las velocidades de sus movimientos y mide distancias de las cosas mismas» (En su libro *An Introduction to Natural Philosophy*, 1758. Mencionado en van Fraassen [1970], p. 134).

⁷ Véase Jammer [1954], pp. 127-163.

espacio absoluto (y el de tiempo absoluto, desde luego). Pero, además de esta necesidad lógica, en Newton también encontramos una necesidad ontológica⁸ de introducir el espacio absoluto, tal y como se mencionó más arriba: tanto las cosas como sus acontecimientos se dan en (o dentro de) un espacio absoluto. Además, se supone que el reposo y el movimiento constante rectilíneo son reales, y del mismo modo ha de ser real el espacio absoluto que presupone estos estados de los cuerpos: una fuerza real crea un movimiento real.

3. El espacio relacional leibniziano: un enfoque escéptico

A esta concepción de espacio de Newton se le opuso, casi de manera simultánea a su presentación, el gran filósofo Leibniz. Éste desarrolla una concepción relacional del espacio, de acuerdo con la cual el espacio en realidad no existe, éste simplemente es un concepto, una idea, pero que como tal no hay nada real que le corresponda. La idea de espacio la obtenemos a partir de la relación de coexistencia entre los objetos.

136 Leibniz no sólo tiene una concepción distinta a la de Newton, sino que además le parece completamente inaceptable su idea de espacio absoluto por sus implicaciones dentro de la filosofía natural, pero por sobretodo dentro del campo de la teología natural. En la filosofía natural, Leibniz considera que el espacio absoluto es un concepto metafísico innecesario, en tanto que en la teología natural éste concepto o, mejor, entidad, dado su carácter real, lleva a un imagen errada de Dios, en el mejor de los casos, y en el peor, lo identifica con el espacio mismo.

Leibniz cree que en ambos casos nos la podemos arreglar bastante bien con un espacio que más que ser real es conceptual, «el espacio como una cosa puramente relativa... como un orden de coexistencia. Pues el espacio señala en términos de *posibilidad* un orden de las cosas que existen al mismo tiempo, en tanto que existen conjuntamente, sin entrar en sus peculiares maneras de existir; y en cuanto vemos varias cosas juntas, nos damos cuenta de este orden de cosas entre ellas»⁹. Así, para Leibniz, el espacio no es sino

⁸ Véase Granés [2005], pp. 118-128.

⁹ Leibniz [1715 y 1716], p. 68. La cursiva es mía y busca subrayar la oposición entre lo que es meramente posible (conceptual, podríamos decir) y lo real. En el siguiente párrafo, que pertenece a la Quinta carta de Leibniz a Clark (discípulo de Newton), y que sería la última carta de la interesante disputa epistolar que mantuvieron, entre noviembre de 1715 y octubre de 1716, sobre las distintas cuestiones relacionadas con las nociones de espacio que defendían, Leibniz, digo, describe bastante bien la forma como llegamos a la noción de espacio: «veamos cómo los hombres vienen a formarse la noción de espacio. Consideran que varias cosas existen a la vez y encuentran cierto orden de coexistencia, según el cual la relación de unos con otros es más o menos simple. Este orden es su *situación* o distancia. Cuando acontece que uno

un sistema de relaciones, desprovisto de existencia metafísica u ontológica. Los cuerpos existentes definen unas relaciones de distancia o situación a partir de las cuales construimos los conceptos de lugar y espacio, pero estos no refieren a nada existente por sí mismo. En términos ontológicos, no hay nada más que cuerpos y a partir de ellos podemos encontrar ciertas relaciones entre los mismos; en tanto que para Newton hay espacio y cuerpos, incluso para él, el espacio es ontológicamente anterior a los cuerpos.

Los argumentos de Mach contra el espacio absoluto de Newton, presentados casi 200 años después, transcurren en una línea argumentativa muy semejante a la de Leibniz, y de sus ideas vale la pena mencionar estas: «podríamos decir que Newton se encuentra aún bajo el influjo de la filosofía medieval, como si empezara a ser infiel a su firme propósito de investigar únicamente hechos reales»; su noción de tiempo absoluto «se trata de una concepción metafísica ociosa»¹⁰, así como sus nociones análogas de espacio absoluto y movimiento verdadero. Para Mach es clara la contradicción palmaria existente entre los principios metodológicos de la ciencia promulgados por Newton y la postulación de un espacio absoluto, de tal manera que él será del parecer de mantener los primeros y rechazar lo último.

En síntesis, son tres las ideas clave en este apartado.

1. Hay un realismo en Newton y un escepticismo en Leibniz respecto a la existencia real del espacio.

2. Leibniz reconoce que la teoría (la mecánica) desarrollada por Newton es una teoría que da cuenta en forma completa de los fenómenos mecánicos terrestres y celestes, pero con lo que no está de acuerdo es con que el espacio absoluto postulado por la teoría sea real. En este sentido podríamos decir que la teoría de Newton (que incluye la afirmación de que el espacio absoluto es real) y la teoría de Leibniz (que niega la anterior

de esos coexistentes cambia en esa relación con respecto a multitud de otros, sin que éstos cambien entre ellos, y que un nuevo cuerpo que llega adquiere la misma relación que el primero había tenido con los otros, se dice que ha venido a ocupar el lugar del primero y se llama a ese cambio un movimiento que está en aquel en el que está la causa inmediata del cambio. Y cuando varios, o incluso todos, cambiasen según ciertas reglas conocidas de dirección y de velocidad, se puede siempre determinar la relación de situación que cada uno adquiere con respecto a los demás, e incluso aquel que cada otro tendría o que tendría con respecto a cada otro si no hubiera cambiado o si hubiera cambiado de otra manera. Y suponiendo o imaginando que entre dichos coexistentes hubiera un número suficiente de ellos que no hubiesen sufrido cambio en sí mismos, se dirá entonces que aquellos que tienen una relación con estos existentes fijos igual a la que otros habían tenido antes con ellos, ocuparán el *mismo lugar* que dichos otros habían ocupado. Y aquello que comprende a todos esos sitios es llamado *espacio*» (Leibniz [1715 y 1716], p. 112).

¹⁰ Mach [1883], pp. 272 y 273.

¹¹ Véase van Fraassen [1980], pp. 44-46.

afirmación) son teorías empíricamente equivalentes, dan cuenta de los mismos fenómenos¹¹.

3. Considero que prácticamente desde Euclides y hasta Kant, pasando por Newton, existe la idea implícita de la equivalencia entre espacio geométrico (tema de la geometría) y espacio físico (tema de la física). Para el caso, basta mencionar las siguientes palabras de Newton.

La descripción de las líneas rectas y los círculos sobre la cual se basa la geometría pertenece a la mecánica. La geometría no nos enseña a trazar esas líneas, aunque requiere que sean trazadas, pues exige que el aprendiz aprenda primero a describirlas con precisión antes de entrar en la geometría, mostrando luego cómo pueden resolverse los problemas de esas operaciones. Describir líneas rectas y círculos es un problema, pero no un problema geométrico. Se exige de la mecánica la solución de ese problema, y cuando está resuelto, la geometría muestra la utilidad de lo aprendido; y constituye un título de gloria para la geometría el hecho de que a partir de esos pocos principios, recibidos de otra procedencia, sea capaz de producir tantas cosas¹².

La negación de esta equivalencia será una de las consecuencias importantes de la aparición de las geometrías no-euclídeas.

138

4. Las geometrías no-euclídeas: geometrías pura y física¹³

El origen de la distinción entre geometría pura (matemática) y física (aplicada) está relacionado directamente con la aparición de geometrías no-euclídeas, que a su vez tiene que ver con la larga e interesante historia del problema del quinto postulado de la geometría de Euclides, el así llamado postulado de las paralelas: por un punto exterior a una recta pasa *una y sólo una* paralela a dicha recta. El problema con este postulado no radicaba en su verdad sino en su independencia respecto al resto de postulados. Además, con la construcción de geometrías no-euclídeas quedó demostrada la independencia del quinto postulado; es decir, el hecho de que el quinto postulado no es derivable de los otros. Si el quinto postulado es independiente de los otros cuatro entonces se le puede sustituir por un enunciado incompatible con él sin contradecir lógicamente los otros axiomas; y esto precisamente es lo que se obtiene con las geometrías no-euclídeas.

Uno cualquiera de estos sistemas de geometría no-euclídea tiene un postulado alternativo a -un postulado incompatible con- el quinto postulado de Euclides que toma una de las formas de su negación; y, además, el sistema carece de contradicciones internas, es un sistema lógicamente consistente en el mismo sentido que lo es la geometría euclídea.

¹² Newton [1687], pp. 199-200.

¹³ Las distintas ideas de este apartado las he desarrollado en forma más sistemática en Guerrero [2003], pp. 57-65 y Guerrero [2005a].

La *geometría hiperbólica* apareció a comienzos del siglo XIX y fue formulada por Karl Friedrich Gauss, János Bolyai y Nikolai Lobachevski. Esta geometría mantiene los cuatro primeros postulados de la geometría euclídea y rechaza el quinto proponiendo como alternativa algo equivalente al siguiente enunciado: por un punto exterior a una recta pasa *más de una* paralela. La *geometría esférica* propuesta, no mucho después de la primera, por el matemático alemán Georg Friedrich Riemann rechaza tanto el quinto postulado como el segundo y admite los otros tres de la geometría euclídea. Los dos postulados alternativos son respectivamente: por un punto exterior a una recta *no pasa ninguna* paralela y dos rectas cualesquiera tienen *dos* puntos distintos en común. Además, la *geometría elíptica* tiene como variante del segundo postulado de la geometría esférica al siguiente enunciado: dos rectas cualesquiera tienen *un único* punto en común.

No voy a entrar a mencionar los pormenores relacionados con la aparición de las geometrías no-euclídeas, más bien sólo voy a enumerar las principales implicaciones de la aparición de las geometrías no-euclídeas:

1) permitió una mejor comprensión de la naturaleza hipotética de la geometría axiomática pura y, por tanto, de las matemáticas en general.

2) produjo el esclarecimiento del concepto de espacio físico en oposición al concepto de espacio matemático. Esto es, la separación entre geometría pura y geometría física.

3) se puso en claro que no había ningún medio *a priori* para decidir, lógica o matemáticamente, qué tipo de geometría es la que representa en realidad las relaciones espaciales entre los cuerpos físicos. Esto precisamente porque las geometrías no-euclidianas son tan consistentes como la euclidiana; esto es, los dos tipos de geometría están en igualdad de condiciones desde un punto de vista lógico.

Una vez establecidas las geometrías no-euclídeas quedaba entonces como tarea averiguar el tipo de estructura del espacio físico: saber si el espacio físico es euclidiano o no, responder a ¿cuál es la geometría verdadera?, ¿cuál es la geometría del mundo físico?

5. Convencionalismo de Poincaré

Ante estas preguntas y dada la imposibilidad de poder establecer en forma *a priori*¹⁴ la estructura geométrica del espacio físico, puesto que las geometrías no-euclídeas y la euclídea tienen el mismo estatus lógico, resultó natural darle la razón al punto de vista empirista, de acuerdo con el cual sólo

¹⁴ Para el rechazo del espacio como una intuición pura *a priori* véase Reichenbach [1921] y Reichenbach [1928/1957], pp. 30-36. En mi artículo Guerrero [2005b] presento un argumento inspirado en Reichenbach.

la observación y el experimento deciden sobre la teoría correcta acerca del mundo. De tal manera que esto sería tan cierto para la geometría del espacio físico como para la física en general, la química, la biología y, en general, las ciencias denominadas empíricas. De acuerdo con este punto de vista, la propuesta kantiana está completamente equivocada al proponer que podemos conocer con absoluta certeza la geometría del mundo independientemente de la observación y el experimento. Pero, entonces, como pregunta Sklar, realmente «¿están las cosas tan predeterminadas?»¹⁵.

La respuesta de H. Poincaré a esta pregunta fue que no. Poincaré, a principios del siglo XX, intentó demostrar, de una vez por todas, la inutilidad de la controversia entre aprioristas y empiristas radicales y la falacia de cualquier intento por descubrir experimentalmente cuál de las geometrías mutuamente excluyentes es aplicable al espacio real. La conclusión a la que llegó Poincaré fue que la experiencia no puede confirmar ni refutar una geometría cualquiera que ésta sea. Así que para él «los axiomas de la geometría no son, pues, ni juicios sintéticos *a priori* ni hechos experimentales»¹⁶, los axiomas de la geometría «no son más que convenciones, pero esas convenciones no son arbitrarias; transportados nosotros a otro mundo –que llamo el mundo no euclídeo y que trato de imaginar–, habríamos sido conducidos a adoptar otras»¹⁷.

La cuestión central que indaga Poincaré en su libro *La ciencia y la hipótesis* (1902) tiene que ver con la certeza de la ciencia, y asume como tarea controvertir aquella idea ingenua de que si bien la ciencia es falible, podemos estar seguros de que muchas de sus distintas construcciones gozan de una certeza inamovible. Al indagar Poincaré por las peculiaridades propias de las construcciones científicas, se encuentra con que realmente no todas pueden ser asumidas como hipótesis que tarde o temprano serán verificadas por la observación y la experiencia, convirtiéndose así en verdades fecundas de la ciencia. De acuerdo con Poincaré, muchos constructos científicos no son hipótesis, en el sentido anterior, sino que son definiciones o convenciones: «esas convenciones son la obra de la libre actividad de nuestra mente, que en ese dominio no reconoce obstáculo. En él, ella puede afirmar porque decreta; pero entendámonos: esos decretos se imponen a nuestra ciencia, que, sin ellos, sería imposible; no se imponen a la naturaleza»¹⁸.

Por este camino, Poincaré llega a concluir que el espacio no es un constructo hipotético de la ciencia sino una mera convención. Su argumento

¹⁵ Sklar [1992], p. 88.

¹⁶ Poincaré [1902], p. 62.

¹⁷ *Ibid.*, p. 16.

¹⁸ *Ibid.*, p. 14.

es más o menos como sigue: uno, nunca medimos el espacio mismo directamente, sino que siempre medimos objetos físicos dados empíricamente en el espacio, ya sean estos varillas rígidas o rayos de luz; y dos, los experimentos no pueden decidir nada sobre la estructura del espacio como tal, sólo suministran las relaciones que se mantienen entre los objetos.

Poincaré nos propone imaginarnos el caso de una dilatación uniforme del universo¹⁹. Todas sus dimensiones aumentan uniformemente durante la noche un millar de veces. Lo que antes medía un metro, mide ahora un kilómetro. Esta dilatación se encuentra más allá de cualquier verificación física, pues cualquiera que fuese el instrumento de medición que se empleara, éste también habría crecido en la misma proporción. La cuestión es que si partimos de considerar que la longitud de nuestras varas de medir permanece constante, entonces hemos de concluir que el espacio es no-euclídeo, sería lobachevskiano. En otras palabras, podría suceder, independientemente de las mediciones que realicemos, que cualquier apariencia de no-euclidicidad en el espacio se debiese a campos que se dilatan y contraen, y cosas por el estilo, y no propiamente a que el espacio sea en sí mismo euclidiano.

En términos generales, lo que se quiere mostrar con este experimento metal o de pensamiento es que todas nuestras experiencias pueden ser igualmente acomodadas por dos teorías alternativas, y que en particular, para el caso del espacio físico, podemos dar con dos teorías alternativas equivalentes: en una el espacio físico es no-euclídeo y los cuerpos son completamente rígidos, mientras que en la otra el espacio físico resulta euclídeo y los cuerpos (y también los instrumentos de medición) se dilatan. Bajo estas circunstancias, no habría ninguna experiencia que permitiera elegir una teoría por encima de la otra.

Debemos concluir, entonces, en términos generales, que nuestras teorías físicas no están por completo determinadas por la experiencia. Esta es la así llamada tesis de la **infradeterminación o subdeterminación o indeterminación** de las teorías por la experiencia, la cual sostiene, en últimas, que podemos dar con pares de teorías empíricamente equivalentes pero teóricamente diferentes. Es decir, es posible construir teorías alternativas, en el sentido que sus descripciones del mundo son distintas, pero que dan cuenta de los mismos fenómenos. Estas teorías no discrepan en cuanto a la experiencia, las dos se adecuan igualmente bien a los fenómenos, “salvan los fenómenos”²⁰, que de por sí han de ser observables.

Así que, bajo las circunstancias anteriores, no hay nada en los hechos que determine cuál es la geometría correcta; por tanto, concluye Poincaré,

¹⁹ Poincaré [1902], pp. 76-79.

²⁰ Véase van Fraassen [1980], cap. 3.

ningún tipo de observación y experimento refuta o confirma la geometría euclídea. Para él carece de sentido preguntarse si la geometría euclídea es verdadera o falsa, nos corresponde a nosotros decidir qué tipo de geometría dar al mundo. En este sentido los principios de la geometría “no son más que convenciones” o, lo que es equivalente, la verdadera geometría del mundo es una cuestión de decisión o convención por nuestra parte y no una cuestión de hecho. Pero, llegados a este punto, Poincaré concluye que, si aplicamos consideraciones de simplicidad y conveniencia, debemos partir de que la geometría del mundo es euclídea: «la experiencia nos guía en esta elección que no nos impone y no nos hace reconocer cuál es la geometría más verdadera, sino cuál es la *más cómoda*»²¹. Esto es, en lo que a Poincaré respecta, la geometría más conveniente para representar el espacio físico es la euclidiana puesto que es mucho más simple que las otras, es la que la intuición y, de algún modo, la experiencia misma nos proporcionan en un primer momento o, si se quiere, la que obtenemos de la abstracción familiar de la experiencia común con los cuerpos sólidos y los rayos de luz. Como puede observarse, la propuesta de Poincaré tiene implicaciones epistemológicas de largo alcance al plantear que no podemos llegar a un conocimiento ni siquiera aproximado de la estructura del mundo ni a partir de la observación directa y los experimentos, y mucho menos apartados de ellos.

Considero que el físico Kip S. Thorne (1994) defiende una especie de instrumentalismo muy próximo al convencionalismo de Poincaré, que bien podríamos calificar de extremo o, bien, de convencionalismo consecuente. Esto porque efectivamente admite que es posible desarrollar de un modo consecuente las dos concepciones opuestas sobre el espacio-tiempo, la euclídea y la no-euclídea, sin que, como es lógico, tengan implicaciones ontológicas. Thorne (1994) muestra que es posible desarrollar dos teorías o paradigmas equivalentes sobre los fenómenos relativistas: en uno, en el *paradigma del espacio-tiempo curvo*, se considera que el espacio-tiempo es curvo y las reglas de medir no son elásticas, siempre mantienen sus longitudes independientemente de dónde se encuentren y cómo estén orientadas; en el otro, en el *paradigma del espacio-tiempo plano*, el espacio-tiempo se considera plano y las reglas perfectas son elásticas.

En el primer paradigma se cuenta con la ecuación de campo de Einstein que describe cómo la materia genera la curvatura del espacio-tiempo y también con las leyes que nos dicen que las reglas y relojes perfectos miden las longitudes y los tiempos del espacio-tiempo curvo de Einstein. Adicionalmente estas últimas leyes nos dicen cómo se mueven la materia y

²¹ *Ibíd.*, p. 82. Martínez-Chavanz ha introducido el neologismo *comodismo* para referirse a esta posición de Poincaré, véase “Entrevista con Regino Martínez-Chavanz” en este número.

los campos a través del espacio-tiempo curvo (por ejemplo, que los cuerpos que se mueven libremente viajan en líneas rectas—geodésicas). Por su parte, en el segundo paradigma se cuenta con una ley que describe cómo la materia, en el espacio-tiempo plano, genera el campo gravitatorio, y adicionalmente otras leyes que describen cómo dicho campo controla la contracción de las reglas perfectas y la dilatación de las marchas de los relojes perfectos. Así, estas leyes también describen cómo el campo gravitatorio controla también los movimientos de partículas y campos a través del espacio-tiempo plano. De acuerdo con Thorne, el conjunto de leyes del primer paradigma pueden derivarse matemáticamente a partir del segundo conjunto de leyes, y viceversa.

En síntesis, nos encontramos ante dos conjuntos de leyes que son diferentes representaciones matemáticas de los mismos fenómenos físicos. Los conjuntos de leyes son distintas representaciones porque sus respectivas fórmulas matemáticas tienen aspectos diferentes, con lo cual las **imágenes** que contienen (o despliegan) los dos paradigmas (teorías) también son diferentes. Precisamente decimos que son dos paradigmas (diferentes) porque **proyectan imágenes** distintas del mundo. Pero el caso es que aún siendo distintos paradigmas, dan cuenta de los mismos fenómenos observables, “salvan los fenómenos”. Por esto decimos que son empíricamente equivalentes. En términos generales, debemos concluir que nuestras teorías no están determinadas de una forma completa por la experiencia, esto es, se encuentran indeterminadas por la experiencia o por los fenómenos.

143

¿Cuál es la verdad real y auténtica? ¿Es el espacio-tiempo realmente plano o está realmente curvado? Para un físico como yo ésta es una pregunta sin interés porque no tiene consecuencias físicas. Ambos puntos de vista, espacio-tiempo curvo y espacio-tiempo plano, dan exactamente las mismas predicciones para cualquier medida realizada con reglas y relojes perfectos, y también (como es el caso) las mismas predicciones para cualquier medida realizada con cualquier tipo de aparato físico... Puesto que los dos puntos de vista coinciden en los resultados de todos los experimentos, ambos son físicamente equivalentes. Qué punto de vista nos dice la “verdad real” es irrelevante para los experimentos; es una cuestión a debatir por los filósofos, no por los físicos. Además, los físicos pueden, y así lo hacen, utilizar los dos puntos de vista de forma intercambiable cuando tratan de deducir las predicciones de la relatividad general.²²

Este tipo de argumentos lleva a Thorne a concluir que

En la investigación en relatividad resulta extraordinariamente útil conocer al dedillo ambos paradigmas. Algunos problemas se resuelven más fácil y rápidamente utilizando el paradigma del espacio-tiempo curvo; otros, utilizando el espacio-tiempo plano... A medida que maduran, los físicos teóricos... pueden considerar el

²² (Thorne [1994], p. 370).

espacio-tiempo curvado el domingo, cuando piensan sobre agujeros negros, y plano el lunes, cuando piensan sobre ondas gravitatorias»... Esta libertad implica poder.²³

6. La respuesta de Einstein: un enfoque realista del espacio-tiempo

La posición de Einstein en este tema es bien clara: «la pregunta acerca de si la geometría práctica del universo [la estructura espacial del mundo físico] es o no euclidiana tiene un sentido claro y la respuesta sólo puede proporcionárnosla la experiencia»²⁴ o, si se quiere, «el problema de si el continuo tiene una estructura euclídea, riemanniana u otra de naturaleza distinta, es una cuestión estricta de la física, que ha de ser contestada por la experiencia y no una cuestión de convención elegida sobre la base de la mera conveniencia»²⁵. Pero esto no quiere decir que esté defendiendo un empirismo extremo, puesto que la respuesta que nos pueda proporcionar la experiencia sobre la geometría del espacio físico no la obtenemos de manera directa, sin que medie reflexión o análisis alguno, sino que, por el contrario, la respuesta, como veremos, está supeditada a consideraciones teóricas, de principio. En otras palabras, no es posible resolver la cuestión de la estructura geométrica del mundo sin tener en cuenta ciertos resultados de la teoría general de la relatividad y sin enfrentar el reto convencionalista lanzado por Poincaré.

144

Einstein empezará por decir que Poincaré sólo tenía razón en parte, tal y como se concluye a partir de la teoría general de la relatividad, pues con él hay que admitir que la construcción conceptual de la noción de espacio en la física se basa en el hecho empírico de que hay dos clases de cambios en los cuerpos físicos: cambios de estado y cambios de posición. Por una parte, los objetos del mundo físico tienen modificaciones o cambios en lo que tiene que ver con su forma, con su estado, así por ejemplo, esta mesa sobre la que escribo podría dilatarse o contraerse; en tanto que el movimiento de la mesa sería un cambio de posición. Por tanto Einstein plantea que

Si rechazamos la relación entre el cuerpo de la geometría euclídea axiomática y el cuerpo prácticamente rígido de la realidad, llegaremos de inmediato, como el agudo y profundo pensador Henry Poincaré, al siguiente enunciado: la geometría euclidiana se distingue por encima de toda otra geometría axiomática concebible gracias a su simplicidad²⁶.

Así que, la conclusión de Einstein es que el hecho de que adoptemos una geometría es cuestión de convención, pero únicamente mientras no hagamos

²³ (Thorne [1994], p. 372).

²⁴ Como lo señaló Einstein en su conferencia ante la Academia de Ciencias de Berlín, en 1921, publicada más tarde con el título *Geometría y experiencia*. Véase Einstein [1921], p. 230.

²⁵ *Ibíd.*, p. 232.

²⁶ *Ibíd.*, p. 230.

ninguna suposición concerniente al comportamiento de los cuerpos físicos implicados en las mediciones. Una vez establecidas estas suposiciones, el sistema geométrico queda determinado por la experiencia.

Por tanto, la salida al convencionalismo de Poincaré la encuentra Einstein en comenzar por reconocer que la relación entre las posibles localizaciones de los cuerpos rígidos (a los que Einstein llama “prácticamente rígidos” o “casi rígidos”) del mundo físico son equivalentes a las relaciones entre los cuerpos de la geometría euclídea. O, en términos más concretos, si admitimos el postulado fundamental que dice “si dos distancias han sido halladas iguales una vez y en alguna circunstancia, son iguales siempre y en todas las circunstancias”, hay que concluir que la estructura geométrica del espacio está condicionada por la experiencia. Este principio es un principio elemental, pero de acuerdo con Einstein es el principio sobre el que descansa «no sólo la geometría práctica de Euclides, sino también su más reciente generalización, la geometría práctica de Riemann, y la teoría general de la relatividad»²⁷.

Ahora bien, por las consideraciones propias de la teoría general de la relatividad se tiene que un campo gravitacional, la distribución de la materia, afecta el comportamiento de las reglas de medir y los relojes, por tanto esta conclusión «es suficiente para excluir la validez exacta de la geometría euclidiana en nuestro universo»²⁸. Einstein ilustra de manera más particular esta conclusión:

En un sistema de referencia que posee un movimiento de rotación con respecto a un sistema inercial, las leyes de localización de los cuerpos rígidos no corresponden a las reglas de la geometría euclidiana, de acuerdo con la contracción de Lorentz. De modo que si admitimos los sistemas no inerciales en un pie de igualdad, debemos abandonar la geometría euclídea²⁹.

En pocas palabras, la argumentación de Einstein es como sigue. Es posible resolver a través de la experiencia qué tipo de geometría corresponde a la estructura del espacio, siempre y cuando se parta de la idea, fundamental dentro de la física, de que los cuerpos mantienen su misma extensión cuando son trasladados de un sitio a otro, esto es, se mantenga la congruencia de los estados de los cuerpos al ser trasladados. Partiendo de este principio, entonces, es posible reconstruir toda la experiencia física que tenemos, de tal manera que esto nos lleva a concluir que la geometría correspondiente es una geometría no euclídea, semiesférica, o, para ser más precisos, semirriemanniana.

Pero aquí debemos hacer una precisión, hay que tener claro que realmente lo que se está presuponiendo que debe adecuarse a la experiencia es el

²⁷ *Ibid.*, p. 232.

²⁸ Einstein [1917], p. 113.

²⁹ Einstein [1921], p. 230.

comportamiento de los estados de los cuerpos más los cambios de los mismos, lo cual constituye un sistema completo³⁰. Así, este sistema completo es el que se contrasta con la experiencia, y no propiamente cada una de estas componentes por separado. No podemos llegar a la idea ingenua que lo que se está proponiendo es que el espacio es completamente empírico, en el sentido en que se experimenta de manera directa. Lo que se puede decir es que la totalidad de las experiencias (encuadradas dentro de un sistema) sobre el estado de los cuerpos y los cambios de los cuerpos, acompañadas del principio de congruencia en la traslación, lleva a Einstein a concluir que el espacio es no euclídeo. En ese sentido podemos afirmar que nuestro esquema conceptual nos lleva a privilegiar que los cuerpos no modifican su extensión al cambiar su posición, lo cual finalmente nos conduce a que, a la luz de la experiencia, efectivamente la geometría del espacio físico es no euclídea.

146

Pero esta última afirmación tiene que ser complementada en relación con la cuestión de la existencia independiente del espacio o del espacio-tiempo de otros elementos de la realidad. Pues, de acuerdo con Einstein, las teorías de la relatividad especial y general responden a esta cuestión de maneras completamente diferentes. A la luz de la teoría de la relatividad especial, hay que concluir que el espacio-tiempo tiene una existencia independiente de la materia o el campo, esto es, según Einstein, «la descripción de los estados físicos presupone el espacio como algo que viene dado de antemano y que lleva una existencia independiente»³¹. Mientras que en la teoría de la relatividad general «el espacio no tiene existencia separada de “aquello que llena el espacio”, de aquello que depende de las coordenadas»³²; en esta teoría «el espacio vacío, es decir, un espacio sin campo, no existe. El espacio-tiempo no tiene existencia por sí mismo, sino únicamente como una cualidad estructural del campo»³³. En términos más generales: «es la idea del campo –dice Einstein- como representante de lo real, en combinación con el principio de la relatividad general, la que muestra el verdadero meollo de la idea cartesiana: no existe espacio “libre de campo”»³⁴.

³⁰ En este punto pareciese que nos estuviéramos moviendo en un círculo vicioso, pero no es así, como bien deja ver Einstein: «dado que la física tiene que hacer uso de la geometría desde el momento en que establece sus conceptos, el contenido empírico de la geometría no puede ser especificado y contrastado sino en el marco de la física como un todo» (Einstein [1952], p. 143). Considero que M. Paty estaría de acuerdo con esta manera particular de concebir el realismo de Einstein, véase Paty [2006], en esta publicación.

³¹ Einstein [1952], p. 151.

³² *Ibíd.*, p. 155.

³³ *Ibíd.*

³⁴ *Ibíd.*, p. 156.

Pero aún así, aunque el espacio-tiempo tiene una dependencia ontológica del campo, este tipo de resultado contrasta con el argumento de Poincaré que muestra la posibilidad de elaborar teorías empíricamente equivalentes en este dominio de la física. Para visualizar mejor la posición de Einstein en este asunto, puntualicemos mejor en qué consiste el convencionalismo de Poincaré y veamos qué otras alternativas tenemos.

El convencionalismo es una forma de escepticismo que defiende la posibilidad de darse múltiples teorías del espacio que den cuenta igual de bien de los datos observacionales y experimentales, y que por lo tanto todas ellas serían igualmente correctas, aunque no podemos declarar a ninguna de ellas como la verdadera. De modo que en últimas no tenemos acceso a la estructura geométrica del espacio. La alternativa sería el realismo, que no sólo acepta que las teorías sobre el espacio postulan una estructura espacial (o espacio-temporal) inobservable, sino que van más allá al afirmar que si la teoría es adecuada empíricamente, entonces la estructura espacial es verdaderamente real, existe en el mundo. Así, el principio del realista es que si una teoría es correcta, existen las entidades postuladas por ella, las entidades inobservables. Pero esta salida realista funciona muy bien si únicamente contamos con una teoría sobre el espacio, pero se ve en muy graves aprietos cuando contamos con un par de teorías empíricamente equivalentes. En esta situación es cuando el problema de Poincaré se presenta de manera más clara. Para buscar una salida al mismo, el realista ya no puede acudir a criterios externos a la teoría, como la observación y los resultados experimentales, sino a criterios pragmáticos que tienen que ver con las características de la teoría en relación con sus usuarios; características tales como la simplicidad o belleza.

¿Qué dice Einstein sobre todo esto? Einstein en muchos lugares habla del carácter puramente ficticio de los fundamentos de la teoría científica. Así, por ejemplo, dice:

Los filósofos naturales de aquellos días [siglos XVIII y XIX], en su mayoría, estaban poseídos por la idea de que los conceptos fundamentales y los postulados de la física no eran, en sentido lógico, libres invenciones de la mente humana y que eran deducibles a partir de la experiencia por “abstracción”, es decir, por medios lógicos. Un completo reconocimiento del carácter erróneo de esta noción aparecería sólo con la teoría de la relatividad general, que demostró que, a partir de una base bien distinta de la newtoniana, es posible dar cuenta de una mayor cantidad de hechos empíricos. Pero más allá de la cuestión de la superioridad de uno u otro punto de partida, el carácter ficticio de los principios fundamentales es muy evidente, toda vez que podemos señalar dos principios esencialmente diferentes que concuerdan ambos, ampliamente con la experiencia. Esto, a la vez, demuestra que todo intento de deducción lógica de los conceptos básicos y postulados de la mecánica a partir de las experiencias elementales está condenado al fracaso³⁵.

³⁵ Einstein [1933], p. 267.

Pero igualmente considero que existen pasajes, en los escritos de Einstein, como los que siguen, en los que hay un marcado realismo:

Para quien es un descubridor en este campo [la física], los productos de su imaginación se le presentan como tan necesarios y naturales que él mismo considera –y querría que los demás los consideraran– como realidades dadas y no como creaciones del pensamiento³⁶.

La experiencia puede **sugerir** los conceptos matemáticos apropiados, pero éstos, sin duda ninguna, **no pueden ser deducidos** de ella. Por su puesto que la experiencia retiene su calidad de **criterio último** de la utilidad física de una construcción matemática. Pero el principio creativo reside en la matemática. Por tanto, en cierto sentido, considero que **el pensamiento puro puede captar la realidad**, tal como los antiguos lo habían soñado³⁷.

O también, «es en el limitado número de campos y de ecuaciones simples que pueden existir matemáticamente donde descansa la esperanza del teórico de **captar lo real en toda su profundidad**»³⁸.

Aún más, hablando sobre la interpretación que introdujo Max Born sobre la función de onda, en la que las funciones espaciales de las ecuaciones no pretenden ser un modelo matemático de la estructura atómica, sino que estas funciones sólo determinan las probabilidades matemáticas de hallar tales estructura, Einstein dice: «aún creo que es posible un modelo de la realidad o, sea, una teoría que represente **las cosas en sí mismas** y no tan sólo la probabilidad de su aparición»³⁹.

Como anuncié más arriba, hay un argumento adicional del realista, al cual no recurre Einstein de manera explícita en estas citas, para consolidar mejor su salto ontológico, esto es, el paso de la postulación de entidades inobservables a la existencia de las mismas. El argumento recurre a valores teórico-pragmáticos⁴⁰ como la simplicidad para lograr dicho propósito; veámoslo.

³⁶ *Ibíd.*, p. 264.

³⁷ *Ibíd.*, p. 267. La negrilla es mía.

³⁸ *Ibíd.*, p. 268. La negrilla es mía.

³⁹ *Ibíd.*, p. 269. La negrilla es mía. Esta misma idea nos la recuerda Einstein cuando dice: «Nos referimos a una teoría que describa exhaustivamente lo físicamente real (con inclusión del espacio cuadrimensional) mediante un campo. La presente generación de físicos se inclina por contestar negativamente a esta pregunta; opinan, en concordancia con la forma actual de la teoría cuántica, que el estado de un sistema no se puede caracterizar directa sino sólo indirectamente, mediante especificación de la estadística de las medidas realizadas en el sistema; prevalece la convicción de que la naturaleza dual (corpúscular y ondulatoria), confirmada experimentalmente, sólo puede alcanzarse mediante un debilitamiento semejante del concepto de realidad. Mi opinión es que nuestros conocimientos reales no justifican una renuncia teórica de tan largo alcance, y que no se debería dejar de estudiar hasta el final el camino de la teoría de campos relativista» (Einstein [1952], p. 157).

⁴⁰ Para la distinción entre virtudes epistémicas y pragmáticas de una teoría, véase van Fraassen [1980], cap. 4. En Guerrero [1999], siguiendo a van Fraassen, reflexiono sobre este

El realista parte de admitir que las teorías del espacio-tiempo proponen verdaderamente estructuras reales del mundo, pero teniendo en cuenta que estas estructuras son inobservables. Con el propósito de no caer en un escepticismo a la hora de enfrentar el reto de Poincaré, y ante la imposibilidad de dirimir la disputa sobre la base de una diferencia de compatibilidad con los datos observacionales, los realistas acuden a criterios que tienen que ver con las características de las teorías usadas, para finalmente concluir que si la teoría está suficientemente bien confirmada, debemos aceptar que es verdadera y, con ello, la realidad de las entidades inobservables postuladas. Se argumenta que en la elección de una teoría aplicamos criterios tales como la plausibilidad intrínseca, la simplicidad, el conservadurismo, la coherencia con otras teorías de fondo, etc., de tal manera que, concluyen los realistas, este tipo de consideraciones puede ayudar a decidir legítimamente cuál es la teoría más convincente y con ello las entidades postuladas que debemos aceptar.

En este sentido el realismo de Einstein puede recibir un importante apoyo de la idea de que sus teorías de la relatividad especial y general son más simples que sus alternativas empíricamente equivalentes (observacionalmente indistinguibles), dado que esas teorías no poseen la estructura problemática e innecesaria que contamina a sus alternativas. Esto puede ser cierto, pero no es suficiente para concluir que dichas teorías son verdaderas o más verdaderas, lo único que podemos concluir es que son *más manejables*, por ser más simples, aunque sean empíricamente equivalentes con sus alternativas. Si se concluyese que son verdaderas (más verdaderas) estaríamos tomando a la simplicidad como criterio de verdad, como guía para afirmar la verdad de una teoría; pero desde luego que esto es erróneo, una cosa es la verdad y otra la simplicidad: la simplicidad «no indica características *especiales* que hagan que una teoría sea más factiblemente verdadera (o empíricamente adecuada)»⁴¹. Aún más, el valor (pragmático) de *simplicidad* de una teoría está supeditado a los valores (epistémicos) de *consistencia* y *adecuación empírica* ya que no tiene sentido examinar la simplicidad de una teoría que sea inconsistente o que no sea empíricamente adecuada. En otras palabras, nos interesa la simplicidad de teorías consistentes (no contradictorias) y que se adecuen a la experiencia.

En conclusión, realmente estas consideraciones a partir de criterios pragmáticos de una teoría no pueden ayudar a sacar adelante la propuesta realista de que ciertos constructos teóricos tienen su correlato en el mundo.

tema y muestro la superioridad epistémica de la adecuación empírica sobre criterios pragmáticos como la simplicidad.

⁴¹ van Fraassen [1980], p. 90.

Las teorías de Einstein son mejores (en cuanto a simplicidad) que sus equivalentes empíricos, pero ello no significa que sean verdaderas o más verdaderas. Esta particular ventaja de las teorías einstenianas no permite asegurar un realismo respecto a la estructura espacio-temporal del mundo, en la medida en que no podemos tomar el criterio de simplicidad como una medida o señal de la verdad de una teoría. Y, en resumen, respecto a la pregunta ¿cuál es el verdadero espacio-tiempo del mundo físico?, tenemos tres tipos de respuesta. El realista (Einstein) afirma que si bien no tenemos un conocimiento directo de este, podemos aunar suficientes elementos de juicio, basados indirectamente en múltiples experiencias y observaciones, que nos pueden llevar a dar una clara respuesta positiva o negativa a la pregunta. El empirista moderado (escéptico) admite que la pregunta está bien planteada, que es legítima, pero suspende el juicio porque considera que no tenemos suficiente evidencia empírica para dar una respuesta afirmativa o negativa a la pregunta. En tanto que el convencionalista (una especie de instrumentalista o de empirista extremo, según se mire) plantearía que la pregunta no tiene sentido, es irrelevante, debido a que por su naturaleza el concepto espacio-tiempo es una mera convención.

Referencias Bibliográficas

- Einstein, A. [1917]: *Relativity. The Special and General Theory*, Crown, New Cork, 1961; v.e. *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, Alianza Editorial, Madrid, 1999.
- [1921]: “Geometry and Experience”, en Einstein [1954], pp. 227-240; v.e. “Geometría y experiencia”, pp. 40-53.
- [1933]: “On the Method of Theoretical Physics”, en Einstein [1954], pp. 263-270; v.e. “Sobre el método de la física teórica”, pp. 78-84.
- [1952]: “Relativity and Problem of Space”, Appendix V de Einstein [1917], pp. 135-157; v.e. “La relatividad y el problema del espacio”, pp. 119-140.
- [1954]: *Ideas and Opinions*, Crown, New Cork; v.e. *Sobre la teoría de la relatividad y otras aportaciones científicas*, Sarpe, Madrid, 1983.
- Granés, J. [2005]: *Isaac Newton. Obra y contexto. Una introducción*, Pro-Offset Editorial Ltda., Bogotá, 2005.
- Guerrero, G. [1999]: “Kuhn y el problema de la elección racional de teoría”, en J.L. Falguera, U. Rivas y J.M. Sagüillo (eds.), *Proceedings of the International Congress Analythic Philosophy at the turn of the Millennium*, Universidad de Santiago de Compostela – España, pp. 343-353. Aparece también como capítulo 2. “El problema de la elección racional de teoría” en G. Guerrero, *Estudios Kuhnianos*, Programa Editorial Facultad de Humanidades, Universidad del Valle, 2003.

- [2003]: *Enfoque semántico de las teorías. Estructuralismo y Espacio de estados: coincidencias y divergencias*, Servicio de Publicaciones Universidad Complutense de Madrid, Madrid- España, 2005 (soporte CD-ROM).
- [2005a]: “Geometrías pura y aplicada desde el enfoque sintáctico-axiomático de las teorías”, *eidos*, Revista de Filosofía de la Universidad del Norte, Julio 2005, pp. 60-82.
- [2005b]: “Teoría kantiana del espacio, geometría y experiencia”, *Praxis Filosófica*, nueva serie, No. 20, Enero-Junio 2005, pp. 31-68.
- Jammer, M. [1954], *Conceptos de espacio*, Editorial Grijalbo, México D.F., 1970.
- Leibniz, G. [1715 y 1716]: *La polémica Leibniz-Clarke*, Edición y traducción de Eloy Rada, Taurus, Madrid, 1980.
- Mach. E. [1883]: *The Science of Mechanics. A Critical and Historical Account of Its Development*, The Open Court Publisheing Co., Illinois, 1960.
- Newton, I. [1687]: *Principios matemáticos de la filosofía natural*, Editora Nacional, Madrid, 1982.
- Paty, M. [2006]: “Einstein y el rol de las matemáticas en la física”, *Praxis Filosófica*, nueva serie, No. 22, Enero-Junio 2006.
- Poincaré, H. [1902]: *La ciencia y la hipótesis*, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1943.
- Reichenbach [1921]: “Estado actual de la discusión sobre la relatividad”, en *Moderna filosofía de la ciencia*, Tecnos, Madrid, España, 1965.
- [1928/1957]: *The Philosophy of Space and Time*, Dover, New York.
- Sklar, L. [1992]: *Filosofía de la física*, Alianza Editorial, Madrid, 1994.
- Thorne, K. [1994]: *Agujeros negros y tiempo curvo*, Crítica, Barcelona, 1995.
- van Fraassen, B. C. [1970]: *Introducción a la filosofía del tiempo y del espacio*, Editorial Labor, Barcelona, 1978.
- [1980]: *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford; v.e. *La imagen científica*, Paidós-UNAM, México, 1996.