

LEIBNIZ, MACH Y EINSTEIN: TRES OBJECIONES AL ESPACIO ABSOLUTO DE NEWTON*

LEIBNIZ, MACH AND EINSTEIN:
THREE OBJECTIONS TO NEWTON'S ABSOLUTE SPACE

LEONARDO CÁRDENAS CASTAÑEDA
Universidad de Caldas, Colombia. leonardo.cardenas@ucaldas.edu.co

CARLOS DAYRO BOTERO FLÓREZ
Universidad del Valle, Colombia. dayro5@yahoo.es

RECIBIDO EL 26 DE AGOSTO DE 2009 Y APROBADO EL 30 DE OCTUBRE DE 2009

RESUMEN ABSTRACT

El texto es un adelanto en la discusión sobre el carácter absolutista del espacio de Newton. En particular, lo que pretendemos debatir es el supuesto carácter ontológico o sustancialista que tiene este punto de vista con relación al espacio. Para este fin apelaremos, en una primera instancia, al argumento de Leibniz donde expone que una de las implicaciones del absolutismo del espacio consiste en que no habría manera de mostrar la diferencia entre las partes del espacio por la razón de que éste sería uniforme. En un segundo término presentaremos las réplicas de Mach, la cual radica en que es posible hablar de espacio y de inercia recurriendo, no al absolutismo del espacio, sino a su carácter relacional, esto es que, al hablar de inercia y de espacio es pertinente tener en cuenta la relación que se tienen entre los distintos cuerpos. Por último, y siguiendo con el enfoque de Mach, mostraremos que para Einstein el carácter relacional del espacio tiene consecuencias significativas tanto en la teoría de la relatividad especial como en la teoría de la relatividad general.

This paper discusses the absolute character of Newton's space. In particular, we intend to debate the alleged ontological or substantialist character of this view about space. To this end we appeal, in the first place, to Leibniz' argument in which he asserts as one of the implications of absolute space that there would not be way of showing the differences among parts of space since it will be uniform. Then, we will discuss Mach's reply which defends the possibility of talking about space and inertia by appealing, not to absolute space but to its relational character, that is, that when dealing with inertia and space is pertinent to take into account the relationships in which different bodies stand one to the other. Lastly, we will show that for Einstein the relational character of space has important consequences both in the theory of special relativity and in theory of general relativity.

PALABRAS CLAVE KEY WORDS

Clarke, Einstein, espacio absoluto, espacio relacional, inercia, Leibniz, Mach, Newton, teoría de la relatividad especial, teoría de la relatividad general.

Clarke, Einstein, absolute space, relational space, inertia, Leibniz, Mach, Newton, theory of special relativity, theory of general relativity.

* El resultado de este trabajo se debe, en gran parte, al seminario sobre *Problemas filosóficos del espacio*, orientado por el profesor Germán Guerrero Pino en la Maestría de Filosofía de la Universidad del Valle en el segundo semestre del año 2008.

INTRODUCCIÓN

La forma como Newton entiende el espacio tiene implicaciones ontológicas fuertes y una conexión directa entre éste (tomado como sustancia) con otras entidades. Por su parte Leibniz y Mach defienden una noción de espacio en términos relacionales, replicando así la concepción absolutista del espacio. El artículo es entonces, en una primera parte y en un adelanto en esta dirección, mostrar lo relevante sobre este debate.

Así pues, el trabajo se va a dividir en cuatro partes. En la primera se presenta la concepción newtoniana del espacio, destacando tres características fundamentales:

- a) El espacio tiene realidad ontológica; este punto de vista también puede ser considerado como el enfoque sustancialista del espacio.
- b) El espacio absoluto es uniforme, lo cual implica que todas sus partes son idénticas.
- c) El espacio es una sustancia que actúa sobre los objetos sin que estos actúen sobre él, de tal modo que cumplen la ley de la inercia (hay una conexión causal entre el espacio y los cuerpos, que tiene que ver con la inercia de los mismos).

En la segunda parte del texto se muestra la discusión entre Leibniz y Clarke, haciendo énfasis en el problema del espacio. Con respecto a este debate es importante resaltar la primera objeción hecha por Leibniz en contra de la uniformidad del espacio, esta consiste en que, apelando al principio de identidad de los indiscernibles, no hay manera de diferenciar entre partes del espacio aparentemente distintas. En esta parte del trabajo también se menciona el argumento de Clarke a favor del absolutismo del espacio. En general, este argumento se centra en la noción de inercia, pues en la concepción newtoniana del espacio es posible que los cuerpos estén en reposo o en movimiento uniforme permanente. Precisamente, este asunto es el que Leibniz no responde satisfactoriamente.

En la tercera parte se explica la forma en que Ernst Mach objeta la concepción newtoniana del espacio, deteniéndose en el siguiente punto: es posible justificar la noción de espacio y de inercia en términos relacionales, lo cual implica que no hay sistemas privilegiados; y que para hablar de la inercia de un cuerpo se requiere de la relación que éste

tiene con otras entidades; además, de su argumento relacionado con el pretendido carácter empírico del proceder de Newton.

Hasta este punto del trabajo es claro que a pesar del éxito que tuvo durante varios años la concepción newtoniana de espacio absoluto, verdadero y matemático, ganó muchas críticas que, como vemos, pusieron en duda la posibilidad de reificar el espacio. Recordemos que uno de los argumentos de Newton se basa en la necesidad de encontrar un sistema al cual referir las leyes del movimiento, es decir, es necesario que el espacio exista como la realidad física donde se da el movimiento. Otros argumentos apelan más bien a experimentos mentales.

Frente a esta manera de sustentar la existencia del espacio, después de mostrar el punto de vista relacional de Leibniz y Mach con respecto al espacio, pasaremos a rastrear, por último, la réplica de Einstein, donde aparecerán dos implicaciones respecto a la mecánica clásica, tanto de la relatividad especial como de la general, a saber, la imposibilidad de comprender los sucesos sin la conexión espacio-tiempo, en la primera, y luego, la imposibilidad de separar los conceptos de espacio y campo en la relatividad general.

NEWTON Y EL ESPACIO ABSOLUTO

Como preámbulo a los experimentos que realiza Newton para justificar el espacio absoluto, recordemos sus palabras en el escolio dedicado a este tema en los *Principia*:

El espacio absoluto, tomado en su naturaleza, sin relación a nada externo, *permanece siempre similar e inmóvil*. El espacio relativo es alguna dimensión o medida móvil del anterior que nuestros sentidos determinan por su posición con respecto a los cuerpos y que el vulgo confunde con el espacio inmóvil; de esta índole es un espacio subterráneo, aéreo o celeste, determinado por su posición con respecto a la tierra¹.

Partiendo de esta definición es importante extraer dos características fundamentales de la concepción newtoniana del espacio:

¹ Newton, I. *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Editora Nacional, 1982. p. 229. Cursivas añadidas.

- a) El espacio tiene realidad ontológica. Es decir, existe independientemente de otras entidades.
- b) El espacio absoluto es inmóvil y uniforme.

Con respecto a la característica *a)* es claro que Newton no está pensando el espacio como un estado mental ni tampoco como una categoría semántica, el espacio es una *sustancia* que no depende de otros objetos para que pueda existir.

Relacionado con la idea anterior, y en cuanto a *b)*, para Newton el espacio como sustancia ontológicamente independiente también tiene la particularidad de ser inmóvil, o sea que funciona como trasfondo o como condición necesaria para que sucedan todos los fenómenos y manifestaciones de la naturaleza. Otra idea implícita y sumamente importante es que la idea sustancialista del espacio, tal como lo muestra Newton, reconcilia dos posturas aparentemente contradictorias, por un lado acepta que el espacio absoluto e inmóvil no se puede experimentar directamente y por el otro, el espacio puede tener lugares diferentes. En otras palabras, Newton “afirma la existencia de situaciones físicas ontológicamente diferentes pero físicamente (experimentalmente) indistinguibles. El espacio newtoniano permite este tipo de cosas y, discutiblemente, esto raya en el absurdo metafísico”². En pocas palabras pues, la noción de uniformidad supone la identidad de las partes del espacio.

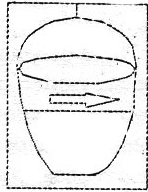
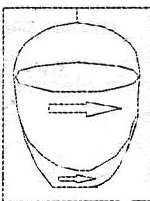
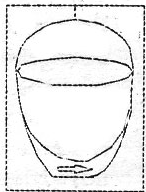
Existe otra característica en torno al espacio absoluto de Newton que no se puede comprender adecuadamente si se ignora la primera ley de Newton. Es decir, el espacio absoluto está íntimamente asociado con la ley de inercia.

- c) El espacio es una sustancia que actúa sobre los objetos, sin que estos actúen sobre él, de tal modo que cumplen la ley de la inercia (hay una conexión causal entre el espacio y los cuerpos que tiene que ver con la inercia de los mismos). En otras palabras, para Newton la inercia se entiende con relación al espacio absoluto, es decir, el espacio es una sustancia que afecta a los cuerpos provocando en ellos la inercia, mientras la relación inversa no es posible.

² Cala Vitery, F. “La identidad de las partes del espacio y el problema de la inercia”. En: *Praxis Filosófica* 22. Enero-Junio. Cali: Centro Editorial Universidad del Valle, 2006. p. 154.

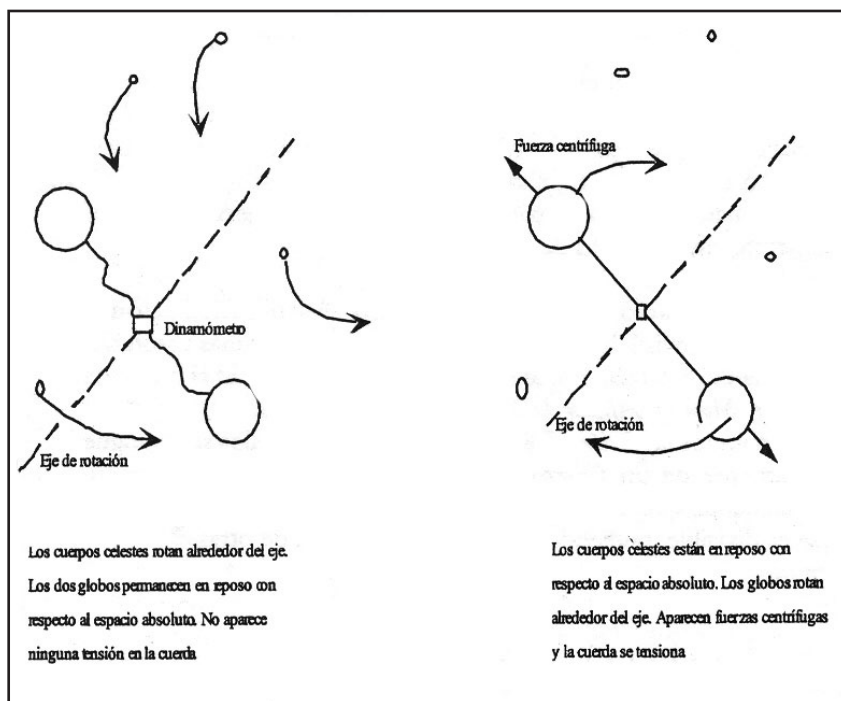
Ahora, una forma de entender las fuerzas inerciales es mostrar que son sistemas acelerados. Es decir, son sistemas que funcionan con relación a la ley de la inercia, donde sólo se utilizan las fuerzas entre unos cuerpos y otros. En este caso dos de los ejemplos clásicos de Newton con relación al espacio absoluto y la ley de la inercia son los siguientes:

E1) Al colocar a girar un balde lleno de agua atado con una soga del techo tendríamos la siguiente situación: veremos que, según Newton, el agua tendería a alejarse de su eje, pero la rotación del agua no es con relación a las paredes del balde, sino con relación al espacio absoluto, pues las fuerzas centrífugas sólo las podemos asumir cuando tomamos únicamente como referencia al espacio absoluto y al agua, lo demás no puede explicar este fenómeno, o más bien, cualquier referencia a otros cuerpos es irrelevante.

Fase 1	Fase 2	Fase 3
		
Balde en rotación	Balde en rotación	Balde inmóvil
Líquido inmóvil	Líquido en rotación	Líquido en rotación
Existe un movimiento relativo entre balde y agua	No hay movimiento relativo entre balde y agua	Existe un movimiento relativo entre balde y agua
Superficie: plana	Superficie: curva	Superficie: curva

E2) Supongamos que tenemos, por un lado, en espacio libre dos globos que están unidos por un hilo y están en estado de reposo. Adicionémosle a la situación que las estrellas giran a igual velocidad alrededor de su eje. Por otro lado, también tenemos dos globos unidos por un hilo, pero en este caso las estrellas son las que están en reposo y los globos se mueven en sentido contrario. El punto relevante aquí es que, en este último caso, cosa que no ocurre en el primero, podemos detectar tensión en la cuerda, por tanto nos daremos cuenta que los movimientos y las fuerzas centrífugas son propios de los globos y no de los demás cuerpos³.

³ Imágenes tomadas de Granés, J. *Newton: el espacio y el tiempo absolutos*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia, 2005. p. 125,126.



Aunque este experimento es usado para distinguir entre los sistemas astronómicos de Ptolomeo y Copérnico, también nos sirve para diferenciar entre movimientos relativos y absolutos, y también para justificar la existencia del espacio. Esto es así porque si el efecto físico observable en las dos situaciones arriba mencionadas (*E1* y *E2*) consiste en que hay fuerza centrífuga en una situación y en la otra no ocurre, entonces es porque la distinción entre movimientos absolutos y relativos es posible sólo en un espacio absoluto⁴.

Es importante mencionar que estos experimentos representan para Newton los indicios que permiten diferenciar los movimientos absolutos de los relativos, y son, precisamente, sólo indicios, porque como el mismo autor reconoce, las partes del espacio inmóvil donde se presentan esos movimientos no son perceptibles por los sentidos. Pasamos entonces a lo que Granés considera que en Newton no es una ingenuidad: suponer la existencia del espacio absoluto antes de los experimentos que va a sustentar la existencia del espacio del cual

⁴ Aunque tal como Newton plantea la situación hay una clara petición de principio, tratamos de serle fiel en su modo de argumentar a favor del espacio absoluto.

partió. Granés considera que Newton bien pudo ser consciente de ello y que este supuesto error se evidencia sólo si no se distingue la argumentación ontológica de la argumentación empírica. La última es la que se presenta en los experimentos del balde y los globos, mientras que ontológicamente Newton sustenta la existencia del espacio a partir de la afirmación de que el espacio (igual que el tiempo) constituye el fundamento del mundo físico, es decir, sin aquel espacio-receptáculo el mundo físico que conocemos no podría existir. Es, precisamente en este punto, en que Mach ataca de una manera menos condescendiente la argumentación de Newton.

LA PRIMERA OBJECCIÓN, DISCUSIÓN LEIBNIZ - CLARKE

Para Leibniz hablar ontológicamente del espacio (como recipiente absoluto) es algo que no tiene fundamento. El espacio para Leibniz es más bien un concepto relacional, es decir, es un concepto que podemos utilizar dada la ordenación de los cuerpos. El propio Leibniz sostiene que,

En cuanto a mí, he señalado más de una vez que consideraba el espacio como una cosa puramente relativa, al igual que el tiempo; como un orden de coexistencias, mientras que el tiempo es un orden de sucesiones. 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 ellas⁵.

Leibniz critica el espacio absoluto basándose, entre otros, en los Principios de Razón Suficiente (PRS) y el de la Identidad de los Indiscernibles (PII). Con respecto al primero (PRS), a pesar de que es un principio genuinamente teológico tiene repercusiones interesantes, sobre todo causales, para criticar la noción de uniformidad del espacio de Newton. Si Dios no tiene razón alguna para crear mundos distintos e indistinguibles, entonces no debemos esperar encontrar en la naturaleza lugares idénticos. Expresado de otra forma, si es posible experimentar disposiciones distintas del mundo, entonces se pueden distinguir. Ahora, si es cierto que el espacio absoluto es uniforme,

⁵ Leibniz. *La polémica Leibniz-Clarke*. Eloy Rada (Ed y Trad). Madrid: Taurus, 1980. p. 68.

entonces no habría forma de distinguir entre partes aparentemente distintas, es decir, no habría ninguna forma para preguntarnos por la preferencia de un lugar sobre otro. Combinados entonces el (PRS) y el (PII), Leibniz llega a la conclusión de que hablar de espacios o lugares experimentalmente distintos pero indistinguibles, carece de sentido, es una patente contradicción.

Lo que no le pudo responder Leibniz a Clarke desde su argumento relacionista fue la posibilidad de la inercia, dado que mientras en el esquema de Newton (espacio y tiempo absolutos) la inercia es posible, es decir, los cuerpos pueden estar en reposo o en movimiento uniforme, la corrección de Leibniz no llegó nunca a aclarar el contraargumento de Clarke. De hecho, Clarke trata de demostrar que “la realidad del espacio no es una hipótesis” y para ello apela a demostraciones del siguiente tenor:

[...] Dos lugares, aunque exactamente iguales, no son el mismo lugar. El movimiento o el reposo del universo no son el mismo estado, igual que el movimiento o el reposo de un barco no son el mismo estado por el hecho de que un hombre encerrado en la cabina no pueda percibir si el barco navega o no, mientras se mueva uniformemente. El movimiento del barco, aunque el hombre no lo perciba, es un estado realmente distinto y tiene unos efectos realmente distintos, y un parón repentino daría lugar a distintos efectos reales, y del mismo modo ocurriría con movimiento imperceptible del universo. *Nunca se ha respondido a este argumento*⁶.

De esta manera, se puede interpretar la discusión en, algo así como que Leibniz se quedó a mitad de camino para completar su reparo frente al sustancialismo del espacio. Al parecer será Mach quien completará la labor, haciendo énfasis sobre la supuesta relación entre el espacio absoluto y la inercia.

LA SEGUNDA OBJECCIÓN. MACH

Lo que pretende Mach es resaltar el carácter abstracto y las suposiciones que hay en los experimentos de Newton con argumentos que evidencian

⁶ *Ibid.*, p. 92. Cursiva añadidas.

que si éste pretendía usar los experimentos mencionados como sustento de su teoría, en realidad estaba muy lejos de sus intenciones, es decir, si Newton pretendía atenerse a los hechos reales se encontraba ante una empresa imposible, dado que no se puede llegar a sustentar la existencia de un espacio que por su carácter absoluto no se puede demostrar a partir de ninguna experiencia. El espacio de Newton como escenario en el cual ocurre el movimiento, posee esencialmente un carácter ideal que radica en que su existencia es apenas inferida a partir de algunos indicios porque este escenario abstracto como tal no es algo accesible a los sentidos. Es por ello que, plantea Mach, *Newton se encuentra aún bajo el influjo de la filosofía medieval* y, puede agregarse, está hablando de algo que apenas se puede imaginar.

La propuesta de Mach aparece en el texto (*La ciencia mecánica*) como refutación a la noción de Newton donde el espacio y el tiempo son absolutos. En la primera crítica, que es de carácter epistémico, Mach evidencia que Newton a pesar de querer analizar sólo los hechos reales a nivel científico, está cayendo en una concepción metafísica por cuanto tanto el espacio como el tiempo (absolutos) son cosas del pensamiento o construcciones mentales que no se pueden producir o contrastar en la experiencia. Este punto quedará más claro cuando se comente la actitud empirista de Mach.

A partir de esta objeción, Mach logra dar razón de lo que dejó Leibniz sin responder. La inercia no requiere del espacio absoluto para ser explicada. El argumento de Mach indica que en tanto la inercia es un concepto relacional, al igual que el espacio y el tiempo, necesita, además del cuerpo en cuestión, otros cuerpos con los cuales completar la relación. Se puede así mostrar la noción de espacio en Mach, lo cual justifica el espacio leibniziano. Dice Mach:

El experimento de Newton con el cubo de agua en rotación únicamente nos dice que la rotación relativa del agua respecto a las paredes del recipiente no produce *ninguna* fuerza centrífuga perceptible, pero que tales fuerzas sí se producen como consecuencia de la rotación relativa respecto a la masa de la tierra y demás cuerpos celestes⁷.

⁷ Mach, E. "La ciencia mecánica". En: *La teoría de la relatividad*. Madrid: Alianza Editorial, 1984. p. 31.

Aquí se puede extraer el carácter relativista que asume Mach a propósito del espacio. Es necesario indagar correctamente cuál es el verdadero movimiento de los objetos y su relación con otros, así que para Mach, Newton sólo toma en cuenta la conexión entre el espacio absoluto y el cubo con agua, pero deja al margen a otros cuerpos que también participan en el fenómeno del movimiento. Lo mismo ocurre con el experimento de los globos atados con un hilo: necesitamos saber la relación entre los globos y los demás cuerpos para conocer su estado del movimiento. El punto importante aquí es que para Newton sólo tenemos una auténtica percepción de las fuerzas centrífugas e inerciales si tenemos en cuenta el espacio absoluto.

La réplica interesante de Mach es que es posible hablar de fuerzas centrífugas e inerciales sin necesidad de apelar al espacio absoluto. En palabras del profesor Cala Viteri la situación es así:

La idea de Mach era que, al igual que las demás fuerzas, las fuerzas inerciales debían originarse en algún tipo de interacción entre cuerpos materiales. En este caso de la interacción de la materia inmediata con el conjunto de la materia estelar. De esta forma se podía romper el aparente vínculo causal que amarraba la inercia a la sustancialidad del espacio⁸.

Una de las implicaciones de este análisis a propósito de la inercia, es que la tierra no es un sistema inercial, a pesar de que parezca comportarse de esta manera. Mach explica este fenómeno argumentando que en realidad el movimiento de la tierra no se ajusta a la definición clásica de inercia, es decir, el movimiento de la tierra no es constante ni uniforme, ella puede ser un sistema inercial pero bajo las mismas circunstancias de cualquier otro cuerpo, es decir, de forma aproximada. El sistema, entonces, se considera inercial con respecto a todo. Mach lo explica de la siguiente manera:

El movimiento de un cuerpo, *K*, sólo se puede calcular por referencia a otros cuerpos, *A*, *B*, *C*..., pero dado que en todo momento tenemos a nuestra disposición un número suficiente de cuerpos que son relativamente fijos unos respecto a otros, o cuyas posiciones no varían sino muy lentamente, podemos decir que, al hacer esa referencia, no estamos circunscritos a ningún otro cuerpo *en concreto*,

⁸ Cala Viteri, F. Op Cit., p. 166.

pudiendo ignorar ora este, ora aquel otro cuerpo. De este modo surgió la convicción de que dichos cuerpos son en general indiferentes⁹.

Todos los sistemas inerciales son iguales así nos dé la impresión de que la Tierra es un sistema absoluto. Lo único que se podría decir sobre el movimiento de la Tierra es que es aproximadamente inercial, lo cual ocurre con cualquier otro cuerpo. No hay sistemas privilegiados ni absolutos, todos son relativos. Es más, no se podría privilegiar el movimiento que se explica desde la concepción ptolemaica, ni el que se explica desde la copernicana, pues todos los movimientos son los mismos. Simplemente el copernicanismo tiene virtudes pragmáticas como la simplicidad y la practicidad, y por eso su explicación acerca de la cosmovisión del mundo nos puede resultar más útil. Pero en lo que respecta al movimiento inercial, todos son iguales. Sin embargo este argumento relativista no es inmune a críticas como las siguientes.

Si es cierto que no hay sistemas inerciales privilegiados, entonces vale la pena preguntar por la posibilidad de existencia de alguno, y más aún, nos podríamos cuestionar por el valor de la mecánica cuando en realidad no los hay. El punto relevante aquí, por lo demás novedoso, es que como los sistemas inerciales son relativos, lo que tendríamos, en últimas, serían aproximaciones inerciales de los sistemas. Es más, lo que el argumento implica es que la física (y la ciencia en general) sólo puede ofrecer idealizaciones o aproximaciones teóricas del mundo, pero no habría algo así como *el sistema real* que dé cuenta de los estados de cosas tal como son.

Ahora, con relación a los sistemas inerciales, tal como lo entiende Mach, las aceleraciones no aparecen en movimientos uniformes, lo único que habría serían variaciones derivadas¹⁰. Es decir, las aceleraciones se obtienen por cambios de velocidad, así pues, la aceleración de algún cuerpo es igual o proporcional a las fuerzas que en él intervienen. Esto da cuenta entonces de la segunda ley de Newton: $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$. En otras palabras, donde hay masa y aceleración debe haber fuerza. Aunque puede parecer paradójico que se apele a un principio fundado por el mismo Newton, esta explicación de los sistemas inerciales de Mach y

⁹ Op. Cit., p. 29.

¹⁰ Dado que para Mach no existen sistemas absolutos sino relativos, entonces una de las implicaciones de ello es que en movimientos uniformes no pueden existir aceleraciones, lo único que hay son variaciones de segundo orden en el sentido en que las aceleraciones se obtienen por variaciones o cambios en la velocidad de los cuerpos.

Einstein no es contraria a aquella ley newtoniana, más bien, Mach hace una reformulación de inercia que sea compatible a esta ley.

El empirismo de Mach

En cuanto a la orientación filosófica que Mach asume en *La ciencia mecánica*, se puede decir que su empirismo se diferencia de la fundamentación clásica de esta escuela del período moderno, en cuanto sus inquietudes en torno a la mecánica newtoniana se centran en el desafío acerca de las demostraciones que deben acompañar a ciertos conceptos físicos básicos (como en el caso del concepto de espacio absoluto), o más bien, su empirismo es distinto por el apoyo constante de las ciencias experimentales. En otras palabras, más que empirista, Mach es científicista.

Otro aspecto de la filosofía de Mach consiste en la forma como debemos proceder a la hora de evaluar teorías científicas. Cuando nos habla de que todos los sistemas inerciales son iguales, incluyendo la concepción ptolemaica y la copernicana, nos da a entender que el copernicanismo es el sistema más adecuado sólo por razones prácticas, apelando al principio de simplicidad y de economía. Es decir, una teoría es más útil que otra cuando sus datos conceptuales son más claros, cuando la formulación de la teoría es menos engorrosa, y más importante aún, cuando la teoría salva los fenómenos, sus datos refieren al mundo¹¹. Sin embargo, estas dos concepciones dan cuenta de los mismos fenómenos, en particular de las posiciones y velocidades relativas, que son datos que tenemos sobre el mundo.

Finalmente, Mach no abusa de su científicismo, y al contrario propone algo así, como que la ciencia se hace a la luz de la experiencia que se tiene, lo cual muestra su límite. Es decir, en cada época de desarrollo científico es necesario corroborar constantemente las teorías, en este caso, los principios mecánicos, para buscar cada vez principios más sólidos. Sobre este caso argumenta al final del texto:

¹¹ Para mayor claridad, ver Kuhn, T. *Estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1983. Capítulo XII. Claro que esta idea también es propia de autores como Quine, quien comparte la idea de los criterios pragmáticos de las teorías científicas. “El mito de los objetos físicos es epistemológicamente superior a muchos otros mitos porque ha probado ser más eficaz que ellos para elaborar una estructura manejable en el flujo de la experiencia”. (Quine, W. *Desde un punto de vista lógico*. Manuel Sacristán (Trad). Barcelona: Editorial Orbis, 1984. p. 75).

Que precisamente los principios mecánicos de apariencia más simple son de un carácter sumamente complicado; que estos principios se fundan en experiencias incompletas, incluso en experiencias que nunca llegarán a completarse; que, de hecho, tales principios son suficientemente sólidos –en vista de la estabilidad de nuestro entorno– para servir de base a deducciones matemáticas, no obstante lo cual dichos principios no pueden concebirse como verdades matemáticamente establecidas, sino únicamente como principios que admiten y requieren una verificación constante por parte de la experiencia¹².

En conclusión, se ha tratado en este ensayo por mostrar tres factores destacables en torno a la discusión sobre el absolutismo del espacio: el primero ha consistido en examinar la relación entre los conceptos de espacio y de inercia, principalmente en Newton; el segundo ha expuesto la primera crítica realizada por Leibniz en contra de la identidad de las partes en el espacio uniforme newtoniano; y el tercero ha consistido con el asunto expuesto por Mach, según el cual no es necesario apelar a un espacio infinito y uniforme para comprender la ley de la inercia. Luego de esta explicación se ha intentado extraer lo que podríamos llamar la *filosofía machiana*. En últimas, el ensayo ha sido un intento por acercarnos a los argumentos más notables para criticar el espacio como sustancia absoluta y uniforme, a la vez que se recurrió a una concepción relacional del espacio.

EINSTEIN: ESPACIO Y TIEMPO, ESPACIO Y CAMPOS

Teoría de la relatividad especial

Antes de aparecer la teoría de la relatividad, el concepto de éter era el único que daba razón del movimiento en un espacio acorde con la concepción ondulatoria del siglo XIX donde se creía que era posible explicar la propagación de las ondas, del sonido y demás, como las electromagnéticas, porque hay un medio o base material a través de la cual las ondas se propagan. Era necesario un medio especial que permitiera la propagación de las ondas electromagnéticas que no tenían la misma base material que las ondas de otro tipo: entre los astros y la tierra no hay aire, es decir, no hay medio de propagación, según lo cual

¹² Mach, E. Op. Cit., p. 33.

las ondas electromagnéticas no requieren de un medio para propagarse. Pero esta conclusión no es posible y mucho menos en tal época. Infeld explica esta manera de proceder de la siguiente forma:

El físico del siglo XIX argüía que, en razón de que las ondas mecánicas (y para él no había ondas de otra clase) pueden expandirse sólo en un medio material, entonces debe existir un medio material a través del cual las ondas magnéticas se propagan. A este medio lo llamó éter y supuso que nuestro universo entero está sumergido en esta sustancia imponderable, de la cual conocía por lo menos una propiedad¹³.

Por tanto, la única manera de salvar la teoría era el concepto de *éter* que daba razón del medio de propagación de las ondas electromagnéticas. Sin embargo, este concepto resulta demasiado abstracto y sin fundamento dado que lo único que se sabe de él es que tiene la propiedad de permitir la propagación de las ondas electromagnéticas.

Ahora bien, para Einstein no es necesario recurrir a la noción de *éter* dado que si éste es un campo entonces no es necesariamente un campo que consiste en una base material. Cada campo posee sus propias características, así un campo eléctrico es diferente de uno magnético y, por su parte, las ondas-partículas de luz también se propagan en un campo específico. Einstein considera que Lorentz es quien logra dar razón de este hecho y lo expone de esta manera:

Explicó [Lorentz] todos los fenómenos electromagnéticos y ópticos de los cuerpos ponderables conocidos en aquellos tiempos, a partir del supuesto de que la influencia de la materia ponderable sobre el campo eléctrico -e inversamente- se deba en forma exclusiva al hecho de que las partículas constitutivas de la materia llevan cargas eléctricas, que comparten los movimientos de esas partículas. Con respecto al experimento de Michelson y Morley, H. A., Lorentz demostró que el resultado obtenido al menos no contradice la teoría de un éter en reposo¹⁴.

¹³ Infeld, L. *Einstein: su obra y su influencia en el mundo de hoy*. Buenos Aires: Editorial Leviatán, 1983. p. 29.

¹⁴ Einstein, A. *Sobre la teoría de la relatividad y otras aportaciones*. José M. Álvarez y Ana Goldar (Trads). Madrid: Editorial Sarpe, 1983. p. 180.

El problema que encuentra Einstein en la teoría electromagnética, es que aún concibe un sistema inercial preferente: el éter luminífero en reposo, es decir, para Lorentz, las ecuaciones de Maxwell en el espacio vacío sólo se sostenían en un sistema determinado de coordenadas que se diferenciaba de los demás sistemas por su estado de reposo. Situación paradójica porque la teoría parecía limitar el sistema inercial mucho más que la mecánica clásica. Esto resulta insatisfactorio para Einstein pues lo que busca es precisamente conservar el principio de relatividad especial, es decir, la equivalencia de los sistemas inerciales:

[La teoría de la relatividad especial] toma de la de Maxwell-Lorentz el supuesto de la constancia de la velocidad de la luz en el espacio vacío. Para que esto esté en armonía con la equivalencia de los sistemas inerciales (principio de la relatividad especial) debe abandonarse el carácter absoluto de la simultaneidad, además, las transformaciones de Lorentz para las coordenadas de tiempo y espacio valen para la transformación de un sistema inercial a otro. El contenido total de la teoría de la relatividad especial está incluido en el siguiente postulado: las leyes de la naturaleza son invariantes con respecto a las transformaciones de Lorentz¹⁵.

Es por ello que se puede afirmar que aquellas ideas de Lorentz, en principio insatisfactorias para Einstein, habrían de llevar a la teoría de la relatividad especial¹⁶ donde se superaría lo que tanto problema causa al físico relativista porque: “los fundamentos de la teoría electromagnética nos han enseñado que hay un sistema inercial particular preferente, a saber, el de éter luminífero en reposo”¹⁷.

Ahora, en la relatividad, en sentido restringido, también se postula que el tiempo es la cuarta dimensión. Es aquí donde aparece la relación de la teoría de la relatividad especial con respecto al problema del espacio tal y como explicamos a continuación, donde también se evidencia la relación que hay entre la física clásica y la teoría de la relatividad especial,

¹⁵ *Ibid.*, p. 181.

¹⁶ Einstein reconoce esto cuando afirma que “la teoría (especial) de la relatividad ha emanado de la electrodinámica y de la óptica [...] La teoría especial de la relatividad ha conferido a la teoría de Maxwell-Lorentz un grado tal de evidencia que, aun cuando los experimentos hubiesen hablado menos convincentemente a favor suyo, esta última teoría habría sido aceptada con carácter general por los físicos”. (Einstein, A. *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad. El significado de la relatividad*. Miguel Paredes, Carlos E. Prélat y Albino Arenas (Trads). Cali: Editorial Planeta, 1986. p. 30).

¹⁷ *Op. Cit.*, p. 181.

que consiste, primero, en que en ambas teorías se concibe al universo como un continuo tetradimensional: “incluso en la física clásica un fenómeno es localizado por cuatro números, tres coordenadas espaciales y una coordenada temporal”. Es decir, el carácter cuatridimensional de la realidad no es postulado por primera vez por Einstein. La diferencia está en que en la teoría de la relatividad especial el espacio y el tiempo no pueden fraccionarse, el continuo espacio-temporal es irresoluble. Esto es, en la física clásica los sucesos se dan en el espacio-tiempo tetradimensional pero el conjunto espacio-tiempo se puede separar; es posible explicar fenómenos espaciales sin tener que hacer referencia a la dimensión temporal y viceversa, mientras que para Einstein no es así:

De acuerdo con la teoría de la relatividad especial la cuestión es distinta. La totalidad de los sucesos que son simultáneos con un suceso seleccionado, existe, es verdad, con relación a un sistema inercial particular, pero ya no en forma independiente de la elección del sistema inercial. El continuo de cuatro dimensiones ya no puede fraccionarse de manera objetiva en secciones que contengan todos los sucesos simultáneos. El ‘ahora’ pierde para el mundo de extensión espacial su significado objetivo¹⁸.

En resumen, la mecánica clásica comparte con la relatividad especial el carácter tetradimensional de los sucesos, pero en la relatividad especial no se puede entender el espacio sin el tiempo o viceversa: espacio y tiempo se hacen presentes a la vez, y no es posible concebir los fenómenos teniendo en cuenta sólo el espacio o sólo el tiempo por más que sean dos cosas diferentes cualitativamente.

Teoría de la relatividad general

El segundo argumento de Einstein es planteado desde la teoría de la relatividad general donde el autor conecta las nociones de espacio-tiempo y campo por medio de una relación de dependencia, es decir, espacio y campo están intrínsecamente vinculados: no hay algo que se pueda concebir como espacio vacío, (que significa, para Einstein, espacio sin campo). El espacio-tiempo no reivindica para sí una existencia propia, sino que reclama la categoría de cualidad estructural de campo. Aparece entonces la confirmación indirecta, anunciada por el autor,

¹⁸ *Ibid.*, p. 182.

de la concepción de Descartes: “La afirmación de que la extensión está limitada a los objetos es, por tanto, infundada. Más adelante veremos, sin embargo, que la teoría de la relatividad general confirma la concepción de Descartes de una manera indirecta”¹⁹. Pero, mientras en Descartes el espacio se identifica con la extensión, y la extensión está ligada a los objetos materiales, según lo cual todo lo que hay es materia, la idea de Einstein es diferente por cuanto la imposibilidad del vacío no se da porque todo sea extensión (objetos materiales según Descartes o sólo campos) sino porque allí donde no hay materia hay algún tipo de campo, magnético, eléctrico o gravitacional. En síntesis, la diferencia Descartes-Einstein es que mientras para Descartes todo está lleno (es un *plenum*) o todo es materia, para Einstein no necesariamente todo tiene que ser materia, sino que hay objetos materiales y campos, pero estos siempre están relacionados con el espacio-tiempo. Con lo cual se confirma la afirmación de Einstein resumida atrás, *la relatividad general corrobora las ideas de Descartes aunque indirectamente*.

En síntesis, el espacio newtoniano que aparece como sistema de referencia necesario para dar razón del movimiento, ha sufrido correcciones que, con el tiempo, se han refinado cada vez más hasta eliminar por completo la posibilidad de existencia de un espacio absoluto. La eliminación de sistemas privilegiados, la imposibilidad de referencia empírica, y la imposibilidad de separar el espacio del tiempo (en la relatividad especial) y espacio de campo (en la relatividad general), han dado al traste con la idea sustancialista que tenía Newton sobre el espacio.

REFERENCIAS

- CALA VITERY, F. (2006) “La identidad de las partes del espacio y el problema de la inercia”. En *Praxis Filosófica* 22, Enero-Junio. Cali: Centro Editorial Universidad del Valle. pp. 153-169.
- EINSTEIN, A. (1983). *Sobre la teoría de la relatividad y otras aportaciones*. José M. Álvarez y Ana Goldar (Trad). Madrid: Editorial Sarpe.
- _____. (1986). *Sobre la teoría especial y la teoría general de la relatividad. El significado de la relatividad*. Miguel Paredes, Carlos E. Prélat y Albino Arenas (Trads). Cali: Editorial Planeta.
- GRANÉS, J. (2005). *Newton: el espacio y el tiempo absolutos*. Bogotá: Editorial Universidad Nacional de Colombia.

¹⁹ *Ibid.*, p. 171.

- INFELD, L. (1983). *Einstein: su obra y su influencia en el mundo de hoy*. Buenos Aires: Editorial Leviatán.
- KHUN, T. (1983). *Estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Económica.
- LEIBNIZ. (1980). *La polémica Leibniz-Clarke*. Eloy Rada (Ed y Trad). Madrid: Taurus.
- MACH, E. (1984). "La ciencia mecánica". En: *La teoría de la relatividad*. Madrid: Alianza Editorial.
- NEWTON, I. (1982). *Principios matemáticos de la filosofía natural*. Madrid: Editora Nacional.
- QUINE, W. (1984). *Desde un punto de vista lógico*. Manuel Sacristán (Trad). Barcelona: Editorial Orbis.