

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Einstein y el éter: la curiosa vida de un concepto

Pedro W. Lamberti* y Víctor Rodríguez†

Das Raum- Feld- und Aether- Problem in der Physik.

El presente trabajo está dedicado a estudiar las distintas aproximaciones al concepto de éter que Einstein tuvo a lo largo de su carrera científica. Por ello resulta de interés analizar, de manera abreviada, las diferentes concepciones sobre el éter que eran mayoritariamente aceptadas a finales del siglo XIX, época en que Einstein comenzó sus investigaciones.

El éter en Maxwell, Hertz, Lorentz y Poincaré

A diferencia de las teorías de acción a distancia para los fenómenos eléctricos y magnéticos que primaban en la Europa continental durante el siglo XIX, la teoría de Maxwell coloca al concepto de campo en una posición central. En su formulación unificada de los fenómenos electromagnéticos, Maxwell no abolió el éter, pero lo simplificó bastante con respecto a los éteres propuestos por algunos de sus antecesores [Maxwell, 1954].

Tras la aceptación de la formulación de la teoría de Maxwell, fundamentalmente después de los exitosos trabajos experimentales de Hertz, la actitud que llegó a predominar en los físicos más influyentes, era que la electrodinámica es el conjunto de las ecuaciones de Maxwell, más la especificación de las densidades de carga y corrientes, además de una conjetura sobre la naturaleza del éter. El propio Hertz participó de esta forma de entender al electromagnetismo e hizo su propia elección de un éter. Terminó eligiendo uno que era arraigado por la Tierra.

Por otra parte la teoría electromagnética de Lorentz, parte del postulado de que las fuentes de los campos eléctricos y magnéticos son partículas submicroscópicas que se mueven en un éter en reposo que lo penetra todo. Puesto que las ecuaciones fundamentales en la teoría de Lorentz son escritas relativas a un sistema de referencia en reposo respecto del éter, tanto la velocidad de la luz, como la velocidad de las partículas submicroscópicas que aparecen en esas ecuaciones, son medidas respecto a ese sistema de referencia. Dada la inconsistencia observada por Lorentz entre el electromagnetismo y la mecánica newtoniana, él modifica las leyes de transformación de Galileo para conectar un sistema de referencia fijo al éter, con un sistema inercial arbitrario. Esencialmente, la modificación de Lorentz consiste en introducir un tiempo coordinado local, con lo cual logra, de modo aproximado, que las ecuaciones del electromagnetismo, en un sistema inercial, tengan la misma forma que en el sistema fijo al éter. En el último capítulo de su tratado *Treatise on Electrical and Magnetic Phenomena in Moving Bodies*, [Lorentz, 1895], presenta la hipótesis *ad-hoc* de la contracción espacial. Esta hipótesis

* FaMAF, UNC y CONICET

† Facultad de Filosofía y Humanidades, UNC

Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 12 (2006)

fue fuertemente criticada por Poincaré. Sin embargo el sabio francés se sintió impresionado con la solución propuesta por Lorentz al introducir su tiempo coordinado. Al respecto, en *La Ciencia e Hipótesis* dice [Poincaré, 1968]: “La teoría de Lorentz es muy seductora, da una explicación muy simple de ciertos fenómenos...; por ejemplo, la aberración de la luz, el arrastre parcial de las ondas luminosas ..”

A lo largo de la última década del siglo XIX, Poincaré manifestó en varias ocasiones sus dudas sobre la real existencia del éter; sin embargo su “decisión final” fue conservarlo. Como indican algunos investigadores, esa decisión tuvo diversos motivos, que no comentaremos aquí. Sólo agregaremos un dato sumamente significativo (mencionado por Galison en su libro *Relojes de Einstein, mapas de Poincaré* [Galison, 2005]). Enfrascado en el problema tecnológico de sincronización de relojes, al aplicar el método de sincronización de relojes que se mueven en el éter, recupera el tiempo local de Lorentz, t_L . La interpretación es simple: la coordinación en un sistema en movimiento exige un retraso de los relojes para compensar el efecto del viento del éter.

La evolución del pensamiento de Einstein en relación con el éter

En 1894 o 1895 el adolescente A. Einstein envió a su tío César Koch una carta junto con un manuscrito que podría considerarse su primer trabajo científico. Éste llevaba por título *Con relación a las investigaciones del estado del éter en campos magnéticos* (una traducción inglesa de este trabajo puede encontrarse en el libro de J. Mehra [Mehra, 2001]). Más allá de la relativa transcendencia que puede asignarse a un “trabajo científico” de un joven de sólo 15 o 16 años, el ensayo tiene, a nuestro entender, una doble relevancia. Por un lado, ha sido el propio Einstein quien ha remarcado que su trabajo de 1905, *Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento* es una consecuencia de los pensamientos que comenzaron a ser elaborados por él en su época de adolescente. Por el otro, nos permite, en el marco del presente trabajo, y aún cuando plantea vagamente la relación entre éter y electromagnetismo, aproximarnos a su propia concepción del éter, a la cual habría podido acceder por la lectura de los libros de texto de fines del siglo XIX¹.

En este ensayo de 1895, Einstein analiza los siguientes puntos:

- i) ¿Cómo un campo magnético, que se genera cuando una corriente se conecta, afecta al éter del entorno?
- ii) ¿Cómo este campo magnético afecta a la corriente misma?

Al respecto dice: “Cuando se hace circular una corriente, inmediatamente se pone al éter del entorno en alguna clase de movimiento instantáneo, cuya naturaleza no ha sido exactamente determinada”. Y agrega: “Más allá de la continuidad de la causa de este movimiento, es decir la corriente eléctrica, el movimiento cesa, pero el éter permanece en un estado potencial y produce un campo magnético”. En este trabajo Einstein manifiesta explícitamente su conocimiento de los trabajos de Hertz al escribir: “Los maravillosos experimentos de Hertz han iluminado de manera por demás ingeniosa, la naturaleza dinámica de esos fenómenos - la propagación en el espacio, como así también la identidad cualitativa de esos movimientos con la luz y el calor”; para luego afirmar “Todo cambio elástico en el éter en cualquier punto (libre)

y en una dada dirección debería ser determinable a partir del cambio en la velocidad de una onda de éter en ese punto y en esa dirección” (Traducción de los autores)

Einstein hace una consideración de tipo cuantitativo sobre las características del éter (la única en todo el trabajo):

“Dejenme agregar solo una cosa. Si la longitud de onda (del éter) no resulta ser proporcional a $\sqrt{A + k}$, entonces la razón para eso tiene que ser buscada en el cambio de la densidad del éter móvil causado por las deformaciones elásticas; aquí A es la fuerza elástica del éter, y k la intensidad (variable) del campo magnético la cual, de hecho es proporcional a las fuerzas elásticas que son producidas” (Traducción de los autores)

Estas afirmaciones dejan datos claros sobre las propiedades que por entonces Einstein asignaba al éter. Finalmente, él propone algunos experimentos para detectar las deformaciones elásticas del éter, enviando rayos de luz a la cercanía del alambre que porta la corriente. Según la biografía escrita por su yerno, Rudolf Kaiser, entre 1897 y 1898 Einstein quería construir un aparato que midiera con precisión el movimiento de la Tierra respecto al éter. Por esa época parece que no conocía ni los desarrollos teóricos de Lorentz, ni la tentativa experimental de Michelson. En una carta enviada a su amigo Grossmann en 1901, escribe: “Se me ha ocurrido un método nuevo, y considerablemente más simple, para investigar el movimiento de la materia con respecto al éter luminoso”. A. Pais opina que esto es un claro indicio de que para 1901, Einstein todavía creía en el éter. En nuestra opinión, y sobre la base del material analizado, esta afirmación de Pais es discutible, pues un par de años antes Einstein escribe a Mileva Maric:

La introducción del término éter en las teorías de la electricidad y magnetismo conduce a la noción de un medio de cuyo movimiento uno puede hablar sin ser capaz, creo yo, de asociar un significado físico a esta afirmación (Kostro, 2000)

En la correspondencia a Mileva, de 1899, Einstein le dice: “He leído un artículo muy interesante de Wien sobre este tema”. Si bien no hemos tenido acceso a este artículo, Holton comenta en su libro de 1995, *Einstein y otras pasiones*, que el mismo versaba sobre las teorías del movimiento del supuesto éter, en el que se describían trece experimentos importantes que trataban de detectar el movimiento de la tierra a través del mismo. Diez de estos experimentos tuvieron resultados negativos, entre ellos el de Michelson-Morley.

En su trabajo de 1905 sobre la relatividad, Einstein logra derivar una expresión para la aberración, sin necesidad de un éter. Algunos historiadores de la física, arriesgan que fue sólo después de obtener esa fórmula que él se siente en condiciones de abandonar el éter estacionario. No entraremos en detalles específicos sobre los alcances de este trabajo, ya que el mismo ha sido objeto de innumerables investigaciones historiográficas y físicas. Lo que es claro a los fines de nuestra exposición es que aquí se produce en su pensamiento un abandono tajante del concepto de éter clásico.

En 1907, H. Minkowski da un marco matemático a la teoría de la relatividad enunciando la teoría del “mundo absoluto”, en la cual solo el mundo quadri-dimensional, en espacio y tiempo, es puesto de manifiesto por los experimentos. En ese sentido Minkowski llama al

postulado de la relatividad, el "postulado del mundo absoluto". Conviene mencionar que, entre los interlocutores de este diálogo, Mach se sintió sumamente atraído por el trabajo de Minkowski [Itagaki, 1992].

Es importante destacar que Einstein, en una carta a Mach, escrita entre 1912 y 1913, dice que él considera absurdo asignar propiedades al espacio mismo, y que la totalidad de las masas crean un campo que gobierna el curso de todos los eventos, incluyendo el viaje de la luz y el comportamiento de varillas y relojes. Como veremos, esta opinión contrasta con su pensamiento posterior. Un nuevo tipo de éter (el sustrato espacio-tiempo) se hará presente en el ámbito de la física.

Lorentz, tras leer la versión definitiva de la relatividad general se convence de que la nueva teoría de la gravitación permite la hipótesis de un éter estacionario. Lorentz hace saber esto a Einstein, quien como respuesta le escribe (17 de junio 1916):

Concuerdo con Ud. que la teoría de la relatividad general admite una hipótesis del éter como también lo permite la relatividad especial. Pero esta nueva teoría del éter no debería violar el principio de relatividad. La razón es que el estado [...tensor métrico]= éter no es el de un cuerpo rígido en un estado independiente de movimiento, sino un estado de movimiento el cual es una función de la posición determinada a través de los fenómenos métricos.

La conferencia de Leyden (5 de mayo de 1920)

Nuestro próximo eslabón en la cadena de su pensamiento en relación con el éter es una conferencia pronunciada en Leyden en 1920. A modo de introducción a ella, recordemos que de acuerdo con el formalismo de la relatividad general, los efectos inerciales son descritos por el tensor métrico que representa el campo gravito-inercial (en la terminología de la época), mientras que la materia está descrita por el tensor energía-momento que es la fuente de las ecuaciones para el campo gravitatorio. Esto marca un nexo entre fuerzas inerciales y materia, el cual está dado por el hecho de que el campo gravitatorio está unívocamente determinado por el tensor energía-momento. Es esta característica de la teoría es lo que él llama en 1918 el principio de Mach.

En 1920 Einstein intenta definir el principio de Mach en término de un "Éter Machiano". En la conferencia dada en Leyden, Einstein explota el concepto de un éter, al cual Lorentz había dado forma definitiva en el ámbito de la teoría del electromagnetismo, de modo de explicar el nuevo concepto de espacio que había surgido con la relatividad general. En este caso, Einstein objeta la interpretación de Mach acerca de los efectos inerciales como causados por masas cósmicas, pues esta idea presupone una acción a distancia lo cual es incompatible con una teoría de campos. En su lugar, él asocia esos efectos inerciales con la naturaleza del espacio, el cual ahora está equipado con cualidades físicas y por lo tanto es adecuado llamarlo un éter. A diferencia del éter de Lorentz, el éter de Mach, el cual Einstein pensaba como representado por el tensor métrico, no sólo condiciona, sino también es condicionado, al menos en parte, por la materia.

Ahora bien, ¿Cuál es el rol de la materia? ¿Acaso ésta no pierde su rol relevante ante el espacio, ahora llamado éter machiano, teniendo entonces un papel de realidad física independiente?

En su conferencia de Leyden, Einstein notó que era posible imaginar al espacio sin un campo electromagnético, pero no sin un campo gravitatorio, puesto que el espacio está solamente constituido por este último. En nuestra interpretación de esta conferencia, él asume el punto de vista de que este programa de investigación no sólo reintroduce el concepto de éter de modo de representar las cualidades físicas del espacio, sino también provee una construcción teórica de la materia como un aspecto de este éter.

Hasta fines de los años '20, Einstein no perdió la esperanza de que el Principio de Mach pudiera mantenerse como un aspecto de una solución cosmológica plausible de las ecuaciones de campo de la Relatividad General.

Cabe citar como anécdota aquí a M. Besso, quien en una carta a Einstein, de fines de diciembre de 1920 dice [Einstein, 1994]

Hoy he leído el texto de la conferencia que has pronunciado en Leyden. Ha sido para mí, una vez más una hora placida, una de esas que tú has ido a buscar a las estrellas. Creo que has dado al término (*éter*) el único sentido que puede tener en el nuevo dominio a fin de que las personas que lo apoyan, en particular Lorentz, no se asusten por las aparentes discrepancias, lo que sería en todo caso humano y, en ese sentido, muy hermoso.

Si bien esto corre por cuenta de su amigo Besso, estas palabras invitan a especular que la re-inserción temprana por parte de Einstein del concepto de éter en la física posterior a la relatividad, puede pensarse como una manera de concederle peso al argumento de Lorentz.

Über den Äther - Acerca del Éter (1924)

A lo largo del año 1925, el físico norteamericano Dayton C. Miller reproduce el experimento de Michelson en condiciones distintas a las originales e informa en sendos artículos, uno presentado en los "Proceedings of National Academy of Washington", y el otro a la revista Nature, la detección de un "viento" del éter de unos 9 km/s. Con referencia a estos trabajos Einstein escribe a M. Besso (día de Navidad de 1925).

Yo también creo que las experiencias de Miller se apoyan sobre errores de las temperaturas

Para nosotros esta afirmación deja en claro que, a esa altura de los acontecimientos, Einstein no duda de la inexistencia del éter óptico, lo cual, a su vez, deja claramente expresado en el primer párrafo de su trabajo "Über den Äther", publicado un año antes:

al hablar de un éter, no estamos, de hecho, hablando del éter físico o material de la teoría mecánica de las oscilaciones (electromagnéticas). Estoy convencido que este edificio teórico finalmente dejó de jugar un rol, desde la formulación de la teoría de la relatividad especial (Traducción de los autores)

Inmediatamente anticipa su razonamiento posterior: "...en lugar de hablar de un éter, podríamos igualmente bien, hablar de cualidades físicas del espacio"

Einstein dedica buena parte de este trabajo a justificar su tesis de que no sólo la teoría ondulatoria de la luz hace emerger el concepto de éter, sino que ya la mecánica Newtoniana lo poseía. Al respecto afirma: “La mecánica Newtoniana tiene su éter... el cual es llamado espacio absoluto”. E insiste: “En la ciencia del movimiento de Newton, el espacio tiene una realidad física, y esto está en estricto contraste con la geometría y la cinemática. Llamaremos a esta realidad física... el éter de la mecánica.” (Traducción de los autores)

Al referirse al rol del campo electromagnético dice: “...los campos electromagnéticos fueron gradualmente considerados como realidades físicas finales, irreductibles, los cuales no deben ser ya explicados como estados del éter. La única cosa que quedó para el éter de la teoría mecánica fue su estado de movimiento definido. Él representaba, digamos, un reposo absoluto”.

M. Besso en una carta a Einstein, del 19 de septiembre de 1930, dice:

... parece que reflexionas de nuevo sobre algo fundamental que se refiere a la dependencia del movimiento de la materia y del campo magnético, que confirmará a posteriori tu conferencia de Lucerna a pesar de los esfuerzos de Piccard² [Piccard, 1924]

La relatividad y el problema del espacio (Abril de 1953)

A través de este ensayo, podemos tomar conocimiento de la posición de Einstein respecto al concepto de éter:

Este espacio cuatridimensional rígido de la teoría de la relatividad restringida es de alguna manera el análogo cuatridimensional del éter tridimensional rígido de Lorentz. Para esta teoría (*relatividad especial*) es igualmente válida la siguiente afirmación. La descripción de los estados físicos supone de entrada abordar al espacio como existente de una manera independiente

Al tratar el concepto del espacio en relatividad general, en este mismo trabajo, afirma:

En relatividad general un espacio (*descrito por una métrica de Minkowski*) no es más un espacio sin campo, sino un caso particular del tensor métrico, por lo cual sus componentes tienen valores independientes de las coordenadas, un espacio vacío, es decir, un espacio sin campos no existe.

A modo de conclusión

Creemos sumamente significativo lo que Einstein escribió varios años después de presentar la relatividad general:

El espacio, hecho una realidad física por-Newton, se ha tragado en las últimas décadas al éter y al tiempo, y parece también haberse tragado al campo y a los corpúsculos, de modo que queda como el único medio de realidad [Einstein, (1930)]

También reflexiona acerca de sus primeros trabajos sobre relatividad especial y dice.

Hubiese sido más correcto si me hubiera limitado, en mis anteriores publicaciones, a enfatizar sólo la no existencia de una velocidad del éter, en lugar de argumentar la total no

existencia del éter, porque puedo ver que con la palabra éter, no estamos diciendo nada más que el espacio tiene que ser un portador de cualidades físicas.

Es más contundente aún cuando expresa

Esta palabra éter ha cambiado su significado muchas veces en el desarrollo de la ciencia... Su historia, de ningún modo terminada, es continuada por la teoría de la relatividad... Existe un argumento importante a favor de la hipótesis del éter. Negar la existencia del éter significa, en último análisis, negar todas las propiedades físicas al espacio vacío

En nuestra opinión, la trayectoria de los significados asociados con la palabra “éter” en el pensamiento de Einstein durante la primera mitad del siglo XX permite apreciar las dificultades conceptuales en relación con la naturaleza de los medios de propagación involucrados en la física, así como la profunda significación de ciertas cualidades del espacio que distan bastante de hacer obvio el concepto de un espacio vacío. Como el propio Einstein sugiere, es posible que estemos lejos todavía de tener una versión robusta de tales cualidades. Es de destacar aquí que esta problemática estaba en la mente de notables pensadores de la época, como P.A.M. Dirac (Nature, 1953). La evolución de las ideas al respecto, muestra que esta corriente de pensamiento sigue aún vigente; valga como ilustración algunos artículos de reciente aparición [Jacobson, 2005].

Notas

¹ Según G Holton, Einstein estaba, al momento de escribir el ensayo de 1895, fuertemente influenciado por la lectura del libro de August Föppl, “Introducción a la teoría de la electricidad de Maxwell” [Holton, 1967]. Vale la pena señalar que Holton también enfatiza la influencia de los trabajos Hertz arriba mencionados sobre Einstein en el período 1895-1905.

² Los “esfuerzos” de Piccard a los que se hace referencia, tienen que ver con la reiteración del experimento de Michelson, pero bajo distintas condiciones, como ya mencionamos previamente.

Bibliografía

- Maxwell, J.C. *A Treatise on Electricity and Magnetism*, Vol. 2, Dover, New York (1954).
Poincaré, H. *La Ciencia y la Hipótesis*, Espasa (1968).
Hertz, H. *Ann. Phys.*, **23**, 84 (1884).
Lorentz, H.A. *Versuch einer Theorie der elektrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*, Leiden (1895).
Galison, P. *Relojes de Einstein, Mapas de Poincaré*, Crítica (2005).
Mehra, J. *The Golden Age of Theoretical Physics*, World Scientific (2001).
Holton, G. *The American Scholar*, **37**, #1, pag. 59-79 (1967).
Kostro, L. *Einstein and the Ether*, Apeiron (2000).
Itagaki, R. en *Ernst Mach – A deeper look*, ed. J. Blackmore, Kluwer Academic Publishers, (1992).
Einstein, A. *Correspondencia con M. Besso*, Tusquets, Barcelona (1994).
Piccard, A. *Actes de la Soc. Helv. Des Sc. Nat.*, **105**, 2 (1924).
Dirac, P.A.M. *Nature* (1953).
Einstein, A. *Forum Philosophicum*, **1**, pag. 180-184 (1930).
Jacobson, T. y Parentani, R. *Scientific American*, **293**, #6, 48 (2005).