

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XIX JORNADAS

VOLUMEN 15 (2009)

Diego Letzen
Penélope Lodeyro

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



¿Revolución en la física del éter o cambio conceptual gradual? La desmecanización del éter de Maxwell a Einstein

Alejandro Cassini y Marcelo L. Levinas**

1. El éter relativista como espacio-tiempo

Después de la formulación de la teoría de la relatividad general, Einstein reivindicó el concepto de éter, que él mismo había creído desterrar de la física con la formulación de la relatividad especial. A partir de 1918 sostuvo que la relatividad general, al dotar al espacio-tiempo de propiedades físicas, implicaba la existencia de un éter gravitatorio, el cual, sin embargo, debía concebirse como carente de toda propiedad mecánica, incluso la de movimiento o de reposo. De esta manera, identificó el éter gravitatorio con el espacio-tiempo de la relatividad general. El pasaje donde publicó por primera vez esta idea es el siguiente¹:

[el éter] ha tenido una suerte cambiante, y no puede decirse en absoluto que ahora esté muerto. Antes de Lorentz existió como un fluido que lo penetraba todo, como un fluido gaseoso y también en diferentes formas de existencia, diferentes de autor en autor. Con Lorentz se convirtió en rígido y personificó un sistema de coordenadas "en reposo", es decir, en un estado de movimiento privilegiado en el mundo. De acuerdo con la teoría especial de la relatividad ya no existe más un estado de movimiento privilegiado; esto significa la negación del éter en el sentido de las teorías anteriores. [...] Pero mientras que según la teoría de la relatividad especial una parte del espacio sin materia y sin campo electromagnético aparecería como completamente vacía, esto es, no caracterizada por ninguna cantidad física, según la teoría de la relatividad general incluso un espacio vacío en este sentido tiene cualidades físicas, las cuales están caracterizadas matemáticamente por los componentes del potencial gravitatorio, que determina el comportamiento métrico de esta parte del espacio, así como su campo gravitatorio. Se puede entender muy bien este estado de cosas hablando de un éter, cuyo estado varía continuamente de un punto a otro. Sólo se debe ser cuidadoso en no atribuir a este "éter" propiedades materiales (por ejemplo, una velocidad determinada en cada posición). (Einstein, 1918, pp. 701-702).

En 1920 Einstein pensó que al identificar al éter con el espacio-tiempo se había dado un paso definitivo en la desmecanización del éter electromagnético realizada por Lorentz:

Una reflexión más cuidadosa enseña que esta eliminación del éter mediante la relatividad especial no es necesaria. Se puede suponer la existencia de un éter; sólo se debe renunciar a adscribirle un estado de movimiento determinado, esto es, se debe sacar de él por abstracción la última propiedad mecánica que Lorentz le había dejado. (Einstein 1920, p. 171).

¿Es en realidad este éter no mecánico muy diferente del que había postulado Lorentz? Aparentemente, como lo muestra el siguiente pasaje, Lorentz comprendía claramente, ya en 1895, que el concepto de movimiento no se aplicaba al éter electromagnético y que,

* CONICET-UBA

consiguientemente, no podía decirse, al menos en sentido literal, que se encontraba en reposo absoluto:

Que no se puede hablar del reposo *absoluto* del éter se comprende de suyo; la expresión ni siquiera tendría sentido. Cuando, para abreviar, digo que el éter está en reposo, con ello sólo quiero significar que una parte de este medio no se desplaza respecto de otras y que todos los movimientos de los cuerpos celestes son movimientos relativos respecto del éter (Lorentz 1895, p. 4).

2. Debates sobre el concepto de éter relativista

La reintroducción del concepto de éter en el marco de la relatividad general suscitó dudas entre los físicos. En un pasaje escrito en 1920 Max Born expresó:

Recientemente, Einstein propuso llamar al espacio equipado con campos gravitacionales y electromagnéticos el "éter", donde, sin embargo, no debe denotar una sustancia con sus atributos tradicionales. Por consiguiente en el "éter" no debe haber puntos determinables, y no tiene sentido hablar de movimiento relativo al "éter". Tal uso de la palabra "éter" es por cierto admisible, y, una vez que haya sido sancionado de esta manera por el uso, probablemente bastante conveniente." (Born 1962, p. 224.)

¿Era razonable llamar éter al campo gravitatorio, es decir, espacio-tiempo de la relatividad general? De hecho, la comunidad de los físicos, salvo excepciones momentáneas, como las representadas por Weyl y Eddington², no siguió a Einstein en su introducción de un éter relativista. El concepto mismo de éter cayó en desuso después de 1930 y el propio Einstein lo abandonó después de 1938. Los físicos prefirieron emplear el concepto de *campo* para designar aquello que Einstein había llamado "éter" y ese uso se ha mantenido hasta la actualidad.

¿Era simplemente equívoco el uso del término éter que hacía Einstein en 1920? Indudablemente se había producido un cambio conceptual y el significado del término ya no era el mismo. No era, sin embargo, la primera vez que el concepto de éter había cambiado de significado. En un pasaje de su libro de divulgación escrito en colaboración con Infeld, Einstein reconoció este hecho con las siguientes palabras:

Todavía podemos usar la palabra *éter*, pero sólo para expresar las propiedades físicas del espacio. La palabra *éter* ha cambiado muchas veces su significado en el desarrollo de la ciencia. Actualmente no designa un medio hecho de partículas materiales. Su historia no está terminada de ningún modo, sino que es continuada por la teoría de la relatividad (Einstein e Infeld 1938, pp. 159-160).

Ya en 1922 Weyl había reconocido el cambio de significado en el concepto de éter relativista:

[...] ahora Einstein habla nuevamente de un éter en la relatividad general. Pero la identidad de la palabra no debería confundirnos acerca de la diferencia de la cosa. [...] El éter sustancial fue concebido por sus inventores como algo real, comparable a los cuerpos ponderables. En la electrodinámica de Lorentz se transformó en una estructura puramente geométrica, es decir, fija de una vez y para siempre, no influida por la materia. En la teoría de la relatividad especial de Einstein se puso en su lugar otra estructura, la de la geometría afin. Finalmente, en la teoría general de la relatividad esta última se transformó en la "conexión más afin" o el "campo guía", convirtiéndose en un campo de estados dotado de

realidad física en interacción con la materia. Y por eso Einstein consideró necesario reintroducir la vieja palabra éter para un concepto completamente transformado; si esto fue conveniente o no es menos una cuestión física que filológica.” (Weyl 1922, p. 59)

El problema terminológico nos parece mucho menos trivial que lo que Weyl había pensado. Ante todo, las cuestiones lingüísticas pueden tener una enorme importancia teórica y son capaces de influir decisivamente en el curso de la investigación. Por otra parte, aquí no se trata solamente de una cuestión lingüística, sino de un problema conceptual. El término éter no es un nombre propio puramente referencial que, por carecer de intención, podría elegirse de manera arbitraria o puramente convencional. Es un nombre de clase que tiene un significado intencional y, por consiguiente, involucra un concepto. Por otra parte, es un predicado que ya había sido utilizado ampliamente en las teorías físicas con un significado ciertamente ambiguo, pero relativamente exento de vaguedad. En cualquiera de sus acepciones connotaba una sustancia material continua que llenaba todo el espacio y servía como soporte de las ondas electromagnéticas. El problema consiste, entonces, en determinar qué relación tenía el nuevo significado asignado por Einstein al término éter con el antiguo significado, o significados, que tenía en la electrodinámica clásica. ¿Se trata de un cambio completo de significado, de modo que la palabra se ha vuelto homónima y su uso puramente equívoco? ¿Estamos ante un caso de inconmensurabilidad léxica, como los que describió Kuhn?

3. ¿Es el éter material?

Es indudable que durante el siglo XIX no sólo cambió el significado del término *éter*, sino que durante largo tiempo coexistieron varios conceptos diferentes e incompatibles del éter. El cambio de significado, evidentemente, no se produjo de manera lineal y uniforme. Cada concepto parcialmente diferente de éter no fue una modificación de otro que lo precedió inmediatamente. Durante el último tercio del siglo, sin duda, hubo momentos en los que reinó una gran confusión acerca de la naturaleza y propiedades del éter, e incluso hubo dudas acerca de su propia existencia, que, no obstante, se presentaba como una necesidad conceptual para la teoría ondulatoria de la luz. Hay en ese período varias líneas de desarrollo del concepto de éter, pero parece evidente que una de ellas conduce directamente de Maxwell a Einstein con la intermediación de Lorentz.

Para Maxwell, el éter electromagnético era una sustancia material semejante a la materia ponderable ordinaria, pero “de un tipo más sutil” (Maxwell 1875, p. 763). Tenía la propiedad de llenar la totalidad del espacio, incluso el interior de los cuerpos transparentes y probablemente también el de los cuerpos opacos. En tanto sustancia material, el éter debía estar dotado de masa y podía tener una composición molecular. Maxwell intentó calcular, a partir de ciertos fenómenos luminosos, la densidad, la elasticidad y otras propiedades del éter, lo cual muestra, con claridad, que consideraba que tenía la misma clase de propiedades que la materia ordinaria. El éter era, entonces, un cuerpo. No obstante, Maxwell advierte que hay propiedades mecánicas muy especiales que se le deben atribuir, para que pueda cumplir la función de transmitir las ondas electromagnéticas. Tenía que ser, por ejemplo, un cuerpo completamente homogéneo e isótropo (Maxwell 1875, p. 775).

Para Lorentz, en cambio, el éter era un referencial privilegiado para la formulación de las leyes de la electrodinámica. Como tal, su única propiedad relevante era la inmovilidad. Las

restantes propiedades mecánicas que pudiera tener no resultaban relevantes para la física. ¿Podía decirse que el éter era un cuerpo, o siquiera que era algo material? Este es también un problema conceptual, y no meramente, terminológico, que los teóricos del éter no pudieron evitar plantearse.

El debate sobre la naturaleza del éter electromagnético se había planteado antes de la relatividad especial a causa de las peculiares propiedades mecánicas que había que atribuirle para que fuera capaz de propagar las ondas luminosas. Así, Michelson, ya en 1903, se mostraba perplejo:

La velocidad de propagación de una onda [...] depende de la elasticidad del medio y de su densidad; pues, podemos ver que si un medio es altamente elástico, la perturbación sería propagada a gran velocidad. Igualmente, si el medio es denso la propagación sería más lenta que si fuera raro. Se puede mostrar fácilmente que si la elasticidad se representara como E , y la densidad como D , la velocidad sería representada por la raíz cuadrada de E dividida por D . De manera que, si la densidad del medio que propaga las ondas luminosas fuera tan grande como la densidad del acero, la elasticidad, puesto que la velocidad de la luz es aproximadamente 60.000 veces mayor que la de la propagación del sonido en un cable de acero, debe ser 60.000 veces al cuadrado mayor que la elasticidad del acero. Así, el medio que propaga las vibraciones luminosas tendría que tener una elasticidad del orden de las 3.600.000.000 de veces la elasticidad del acero. O, si la elasticidad del medio fuera la misma que la del acero, la densidad tendría que ser 3.600.000.000 de veces menor que la del acero, es decir, hablando de manera aproximada, cerca de 50.000 veces menor que la densidad del hidrógeno, el gas más ligero que se conoce. Evidentemente, un medio que propaga vibraciones con una velocidad tan enorme [como la de la luz] debe tener una elasticidad enormemente alta o una densidad anormalmente baja. En cualquier caso, sus propiedades serían de un orden completamente diferente de las propiedades de las sustancias con las cuales estamos acostumbrados a tratar, de modo que pertenece a una categoría por sí mismo. (Michelson 1903, pp. 146-147).

A medida que en la electrodinámica se producía un proceso de desmecanización del éter electromagnético, éste parecía diferenciarse cada vez más de la materia ordinaria. En 1909 Oliver Lodge se expresaba en estos términos:

[...] ¿Es el éter material? Esta es en gran parte una cuestión de palabras y de conveniencia. Indudablemente el éter pertenece al universo físico o material, pero no es materia ordinaria. Preferiría decir que no es "materia" en absoluto. Puede ser la sustancia o sustrato o material del cual la materia está compuesta, pero sería confuso e inconveniente no ser capaz de discriminar entre la materia por un lado y el éter por otro. (Lodge 1909, p. 117)

¿De qué manera debía trazarse la distinción? O dicho de otro modo, ¿cuáles eran las propiedades características del éter que lo debían distinguir de la materia? La respuesta de Lodge era la siguiente:

La distinción esencial entre materia y éter es que la materia se mueve, en el sentido de que tiene la propiedad de la locomoción y puede efectuar impacto y bombardeo; mientras que el éter es estirado, y tiene la propiedad de ejercer tensión y aflojarse. Toda la energía potencial existe en el éter. Puede vibrar y puede rotar, pero respecto de la locomoción es estacionario

—el cuerpo más estacionario que conocemos: absolutamente estacionario, por así decir; nuestro estándar de reposo.” (Lodge 1909, p. 118).

Ante estas declaraciones, parece razonable considerar *a fortiori* que el éter estacionario de Lorentz, despojado de toda propiedad mecánica, como la densidad, la tensión o la energía potencial que Lodge le adjudica, no es una sustancia material. Más bien, resulta difícilmente distinguible del espacio absoluto mismo. De hecho, Lodge en el título mismo de su libro relacionaba el éter con el espacio, pero todavía los distinguía, sosteniendo que el éter era una sustancia, aunque no material, que llenaba la totalidad del espacio. En la teoría de Lorentz, en cambio, se hace más difícil trazar esta distinción, ya que no hay propiedades físicas que permitan distinguir al éter del espacio. Según Lorentz:

[...] el éter es indudablemente muy diferente de toda materia ordinaria, podemos suponer que este medio, que es el receptáculo de la energía electromagnética y de muchas y quizás de todas las fuerzas que actúan sobre la materia ponderable, nunca es, por su propia naturaleza, puesto en movimiento, que no tiene ni velocidad ni aceleración, de modo que no tenemos razón para hablar de su masa o de fuerzas que le son aplicadas. [...] Si excluimos la idea de fuerzas que actúan sobre el éter, no podemos siquiera hablar de [] tensiones, porque serían fuerzas ejercidas por una parte del éter sobre otra. (Lorentz 1916, p. 30-31).

La manera que Lorentz encuentra para conciliar la idea de un éter inmóvil con la noción de partículas que se mueven a través de él sin interactuar en ninguna forma, es la siguiente:

Agregaremos la hipótesis de que, aunque las partículas pueden moverse, el éter siempre permanece en reposo. Podemos reconciliarnos con esta idea, a primera vista, un poco sorprendente, pensando en las partículas de materia como modificaciones locales en el estado del éter. Estas modificaciones, por supuesto, pueden muy bien viajar hacia adelante mientras que los elementos de volumen del medio en el cual existen permanecen en reposo. Ahora bien, si dentro del electrón hay éter, también puede haber un campo electromagnético, y todo lo que tenemos que hacer es establecer un sistema de ecuaciones que pueda aplicarse tanto a las partes del éter donde hay una carga eléctrica, esto es, a los electrones, como a aquellas donde no hay ninguna. (Lorentz 1916, p. 11).

De una manera similar ya se había expresado Lorentz en su discurso al recibir el premio Nobel en 1902.

Gracias a las investigaciones de Van der Waals y otros físicos, conocemos con bastante precisión que una gran parte del espacio ocupado por un cuerpo está de hecho lleno por sus moléculas. En sustancias bastante densas esta fracción es tan grande que tenemos dificultades en imaginar que la tierra sea una estructura molecular tan floja como para que el éter pueda fluir casi completamente libre a través de los espacios entre las moléculas. Más bien, estamos constreñidos a pensar que cada molécula individual es permeable al éter. Lo más simple es sugerir también que lo mismo es verdadero de cada átomo, y esto nos conduce a la idea de que un átomo es en última instancia una suerte de modificación local del éter omnipresente, una modificación que puede desplazarse de un lugar a otro sin que el medio mismo altere su posición. Habiendo llegado a este punto, podemos considerar al éter como una sustancia de una naturaleza completamente peculiar, completamente diferente de toda materia ponderable. (Lorentz 1902, p. 5)

La idea de que el éter es la auténtica sustancia del universo y que la materia, es decir, las partículas, una realidad derivada o una suerte de epifenómeno constituye el fundamento de la llamada concepción electromagnética del mundo, que suele atribuirse a Lorentz pero que, en realidad, se hallaba ampliamente difundida entre los teóricos del éter a fines del siglo XIX y pervivió hasta las primeras décadas del siglo XX. Lodge, por ejemplo, la había expresado concisamente en 1889:

Una sustancia continua que llena todo el espacio: que puede vibrar como luz; que puede ser transformado en electricidad positiva y negativa; que en vórtices constituye la materia; y que transmite por continuidad, y no por impacto, toda acción y reacción de la cual es capaz la materia. Esta es la concepción moderna del éter y sus funciones. (Lodge 1889, p. 358)

Einstein recibió una profunda influencia, posiblemente a través de Lorentz, de esta concepción del mundo y la sostuvo, por su parte, durante toda su vida. Si en la cita anterior de Lodge reemplazamos “éter” por “campo”, obtenemos una descripción que conceptualmente no difiere mucho de la del campo unificado que tanto buscó Einstein. En verdad, el programa de la teoría del campo unificado de Einstein consiste esencialmente en reducir toda la materia y todas las fuerzas de la naturaleza al éter, o lo que es equivalente, al espacio-tiempo o al campo. Este tipo de programa de unificación fue continuado por la *geometrodinámica* de John Wheeler durante la década de 1960 (Wheeler, 1963), hasta que fue abandonado en la década siguiente, cuando resultó claramente superado por el éxito del modelo estándar de partículas elementales. Conceptualmente todos estos programas son análogos, pero, simplemente, el término “éter” cayó en desuso hacia la década de 1930, por lo que la sustancia del mundo se nombra en la geometrodinámica como espacio-tiempo o campo, términos que para Einstein eran sinónimos de éter.³

4. Conclusiones

Podemos formular de manera concisa nuestras conclusiones de la siguiente manera:

- a) Hubo un cambio conceptual en el concepto de éter entre aproximadamente 1875 y 1930.
- b) En el curso de ese proceso de cambio, se abandonaron los modelos mecánicos del éter.
- c) El éter electromagnético experimentó un proceso de desmecanización por el cual se diferenció cada vez más de la materia ordinaria y cada vez menos del espacio.
- d) La concepción de Einstein del éter gravitatorio (y posiblemente también el éter electromagnético) como espacio-tiempo, representa la culminación de este proceso. Resulta un cambio drástico si se la compara con el concepto de éter de Maxwell, pero parece un cambio significativamente menor comparado con el concepto de éter de Lorentz.
- e) Si “éter” y “campo” se toman como sinónimos, siguiendo a Einstein, la concepción electromagnética del mundo de Lorentz es análoga, en sus rasgos fundamentales, con la teoría del campo unificado de Einstein.
- f) El éter desapareció de la física recién en la década de 1930, pero el concepto de campo que lo sustituyó conservó algunas propiedades características del éter, tales como la continuidad y la capacidad de transmitir ondas electromagnéticas.

Notas

¹ Posteriormente, Einstein dedicó tres trabajos específicos al concepto de éter (Einstein 1920, 1924 y 1934), lo cual muestra el interés evidente que tenía en el tema.

² En 1918 Weyl había señalado que el campo métrico descrito por los coeficientes g_{ik} podía llamarse "éter" más que campo gravitatorio (Weyl, 1918, p. 182). Por su parte, Eddington propuso y luego desarrolló un concepto similar de éter relativista (Eddington, 1920, p. 187). Los libros de Weyl y Eddington fueron escritos antes de que Einstein pronunciara su conferencia sobre el éter en octubre de 1920.

³ Para mayores detalles sobre este punto véase el estudio detallado de Kostro (2000), especialmente las pp. 183-188.

Bibliografía

Born, M. (1962) *Einstein's Theory of Relativity*. New York: Dover [1a edición en alemán 1920].

Eddington, A. S. (1920) *Space, Time, and Gravitation*. Cambridge: Cambridge University Press.

Einstein, A. (1918) "Dialog über Einwände gegen die Relativitätstheorie". *Die Naturwissenschaften* 6. 697-702.

Einstein, A. (1920) *Äther und Relativitätstheorie*. Berlin: Julius Springer.

Einstein, A. (1924) "Über den Äther", *Verhandlungen der schweizerischen naturforschenden Gesellschaft*, 105: 85-93.

Einstein, A. (1934) "Das Raum, Äther und Feld-Problem der Physik". En: *Mein Weltbild*. Frankfurt: Ullstein, 1980 pp. 138-147.

Einstein, A. e Infeld, L. (1938) *The Evolution of Physics*. Cambridge: Cambridge University Press.

Kostro, L. (2000) *Einstein and the Ether*, Montreal: Apeiron.

Lodge, O. (1889) *Moderns Views of Electricity*. London-New York: Macmillan.

Lodge, O. (1909) *The Ether of Space*. New York-London. Harper & Brothers.

Lorentz, H. A. (1895) *Versuch einer theorie der Electrischen und Optischen Erscheinungen in bewegten Körpern*. Leiden: Brill.

Lorentz, H. A. (1902) "The Theory of Electrons and the Propagation of Light", Nobel Lecture, December 11, 1902.

(http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1902/lorentz-lecture.html).

Lorentz, H. A. (1916) *The Theory of Electrons and its Applications to the Phenomena of Light and Radiant Heat*. Second Edition, Leipzig: Teubner.

Maxwell, J. C. (1875) "Ether", *Encyclopaedia Britannica*, 9th. Edition, Vol. VIII, p. 568-572. Reimpreso en *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Vol. 2, pp. 763-775

Michelson, M. (1903) *Light Waves and their Uses*. Chicago: the University of Chicago Press.

Weyl, H. (1918) *Raum, Zeit, Materie*, Berlin: Springer.

Weyl, H. (1922) "Die Relativitätstheorie auf der Naturforscherversammlung in Bad Nauheim", *Jahrbuch der Deutschen Mathematikervereinigung*, 31. 51-63

Wheeler, J. (1963) *Geometrodynamics*. New York: Academic Press.