

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. El empirismo en la relatividad especial de Einstein y la supuesta superación de la teoría de Lorentz y Poincaré. Pp. 509-516, *in*: FAAS, Horacio; SAAL, Aarón; VELASCO, Marisa (eds.). *Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de Trabajos de las XV Jornadas. Facultad de Filosofía y Humanidades*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2005. (ISBN 950-33-0528-2)

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-112.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

---

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. El empirismo en la relatividad especial de Einstein y la supuesta superación de la teoría de Lorentz y Poincaré. Pp. 509-516, *in*: FAAS, Horacio; SAAL, Aarón; VELASCO, Marisa (eds.). *Epistemología e Historia de la Ciencia. Selección de Trabajos de las XV Jornadas. Facultad de Filosofía y Humanidades*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2005. (ISBN 950-33-0528-2)

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghtc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghtc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-112.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

## El empirismo en la relatividad especial de Einstein y la supuesta superación de la teoría de Lorentz y Poincaré

Roberto de Andrade Martins\*

*Estoy de acuerdo con Usted que la relatividad general admite la hipótesis de un éter, así como la teoría de la relatividad especial*  
(Carta de Einstein a Lorentz, 1916, *apud* Granek, 2001, p. 22)

### Introducción

En el año 2005, se conmemora el primer centenario del artículo de Einstein, "Acerca de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento" (Einstein, 1905), donde aparece la propuesta de su teoría de la relatividad especial.

Antes de este trabajo de Einstein, otros autores (especialmente Abraham, Larmor, Lorentz y Poincaré) ya habían publicado estudios sobre el tema (Whittaker, 1973). Casi todos los resultados presentados por Einstein en su artículo ya estaban presentes en las investigaciones de Lorentz y Poincaré:

- El principio de la relatividad
- La independencia entre velocidad de la luz y velocidad de la fuente (común a todas las teorías ondulatorias)
- Contracción de los objetos en movimiento
- Cambio del periodo de los relojes
- Relatividad de la simultaneidad
- Transformaciones de Lorentz
- Transformaciones de los campos electromagnéticos
- Relación entre masa y velocidad

Además, en 1905 Poincaré escribió un artículo (que se publicó solamente al año siguiente) que contenía resultados que Einstein no logró obtener:

- La demostración de que las transformaciones de Lorentz constituyen un grupo
- El empleo del intervalo relativístico ( $ds^2=dx^2+dy^2+dz^2-c^2dt^2$ ) y otros invariantes espacio-temporales
- El estudio de la dinámica relativista de cuerpos extensos con tensiones
- La primera investigación de las consecuencias del principio de la relatividad aplicado a la gravitación

Quizás la única contribución de Einstein, en 1905, que no había sido anticipada por Lorentz y Poincaré era la famosa relación entre masa y energía:  $E=mc^2$ . Poincaré había obtenido una relación similar solamente para el caso de la luz (o cualquier radiación electromagnética). Fritz Hasenöhrhrl había obtenido una rela-

\* Universidade Estadual de Campinas.

*Epistemología e Historia de la Ciencia*, Volumen 11 (2005)

ción semejante para objetos que contenían radiación. La relación de Einstein,  $E=mc^2$ , era más general de lo que se había propuesto antes (Martins, 2005).

Sin embargo, tal relación *no es válida en todos los casos*. Ella no se aplica a la energía potencial de una partícula en un campo externo. De la misma forma, ella no vale para un cuerpo extenso sometido a una presión o tensión externa, donde vale la relación de Max Planck (1907) entre entalpía  $H$  y masa:  $H=E+PV=mc^2$ . En los casos de sólidos sometidos a tensiones y torsión, Max von Laue demostró que no es posible definir una masa inercial y que es necesario emplear el tensor de momento-energía-tensión (el cual se adopta en la relatividad general).

Los más importantes desarrollos posteriores de la relatividad especial (formalismo del espacio-tiempo, teoría de fluidos relativistas, termodinámica relativista, empleo del cálculo tensorial, etc.) tampoco fueron obra de Einstein.

Sin embargo, nadie (excepto los historiadores) lee los trabajos de Lorentz, Poincaré y de otros precursores de Einstein; y la gran mayoría de los científicos asocia la teoría de la relatividad únicamente a Einstein.

Hay discusiones sobre *las causas* por las cuales la teoría de Einstein superó la teoría anterior (Zahar, 1978), pero casi nunca se cuestiona si, de hecho, la teoría de Einstein superó la teoría del éter. Este es el punto central del presente artículo.

#### Las diferencias entre las dos teorías

Hay una serie de diferencias innegables entre los abordajes de Lorentz y Poincaré y el de Einstein:

Lorentz y Poincaré	Einstein
Aceptaban el éter	No lo aceptaba
Los postulados fundamentales no eran claros y explícitos	Tenía dos postulados claros y explícitos
Deducciones intrincadas, con muchas suposiciones	Deducciones simples

Tales diferencias (y otras) son descriptas como las *ventajas epistémicas* por las cuales la teoría de la relatividad especial de Einstein superó a la teoría del éter de Lorentz y Poincaré:

1. La teoría de Einstein es más simple, ya que se fundamenta sobre un pequeño número de postulados.
2. Es más científica, porque no tiene los supuestos *ad hoc* que existen en la teoría antigua.
3. Es asimismo más simple porque elimina de la física el éter y el espacio absoluto, entes metafísicos que no tienen ningún empleo en la teoría.
4. Es más satisfactoria bajo el punto de vista empírico, ya que explica fenómenos que no pueden ser explicados por la teoría del éter.
5. El programa de investigación de Einstein tenía una heurística más fuerte que la de Lorentz y Poincaré, y produjo la teoría de la relatividad general.

Hay que examinar primeramente si tales diferencias existen *de facto* y si son suficientemente importantes para justificar la elección de una teoría sobre otra.

1. *La teoría de Einstein es más simple, ya que se fundamenta sobre un pequeño número de postulados*

De hecho, era más simple. Sin embargo, solamente su *cinemática* se fundamenta sobre los dos postulados; la electrodinámica y la dinámica de la teoría de Einstein no tenían una base clara y explícita.

Por otro lado, la diferencia era semejante a la que hay entre los resultados de una investigación y su presentación didáctica y, por eso, el trabajo de Einstein fue considerado inicialmente como si fuera *una versión de la teoría de Lorentz*.

2. *La teoría de Einstein es más científica, porque no tiene los supuestos ad hoc que existen en la teoría antigua*

Los trabajos de Lorentz y de Poincaré presentaban una estructura más compleja y tenían efectivamente muchas hipótesis. Sin embargo, tales presupuestos no preservan la teoría de posibles refutaciones y consecuentemente no disminuyen el status científico de la teoría (según Popper). Cuando surgieron resultados experimentales sobre la masa de los electrones que parecían invalidar la teoría de Lorentz, él no cambió su teoría, y declaró que ella parecía incompatible con los hechos. La actitud de Einstein frente a los mismos hechos fue decir que el experimento estaba equivocado (Martins, 1986).

3. *La teoría de Einstein es asimismo más simple porque elimina de la física el éter y el espacio absoluto, entes metafísicos que no tienen ningún empleo en la teoría*

Es un hecho que Lorentz y Poincaré aceptaban el éter. Sin embargo, el éter no era equivalente al espacio absoluto (tenían propiedades diferentes). Lorentz y Poincaré aceptaban que era imposible detectar el éter, pero consideraban que este concepto era útil porque permitía *explicar* los fenómenos (los campos electromagnéticos, la luz, los cambios que ocurrían en sistemas en movimiento, etc.).

Es un hecho que Einstein rechazó al éter en su trabajo de 1905: "Será demostrado que la introducción de un éter luminoso es superflua ya que, conforme el concepto que será desarrollado aquí, no será introducido ningún espacio en reposo absoluto, con propiedades especiales, [...]" (Einstein, 1905). Sin embargo, en 1920, Einstein aceptó la importancia del éter en la física:

En recapitulación podemos decir que, de acuerdo con la teoría de la relatividad general, el espacio tiene cualidades físicas; en este sentido, por lo tanto, hay un éter. De acuerdo con la teoría de la relatividad general, el espacio sin éter es impensable [*Gemäß der allgemeinen Relativitätstheorie ist ein Raum ohne Äther undenkbar*]; porque en tal espacio no habría propagación de la luz, ni posibilidad de patrones de espacio y de tiempo (reglas de medida y relojes) ni intervalos de espacio-tiempo, en el sentido físico. (Einstein, 1920)

4. *La teoría de Einstein es más satisfactoria bajo el punto de vista empírico, ya que explica fenómenos que no pueden ser explicados por la teoría del éter*

Esto es simplemente *falso*. Los dos abordajes tienen predicciones idénticas para todos los fenómenos observables. Sin embargo, muchos científicos creen que el experimento de Michelson y Morley refutó la teoría del éter.

5. *El programa de investigación de Einstein tenía una heurística más fuerte que la de Lorentz y Poincaré, y produjo la teoría de la relatividad general*

La teoría de la relatividad general *no es* una consecuencia "natural" del desarrollo de la teoría de la relatividad que llamamos "especial", ya que hay muchas posibilidades de llegar a producir una teoría de la gravitación desde la relatividad especial. Es una casualidad histórica que el mismo Einstein, quien escribió sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento (en 1905), fue quien llegó en 1915 (después de muchos errores) a una teoría de la gravitación que tiene, como límite, la relatividad especial.

Aun en el caso que la relatividad general estuviera contenida en forma embrionaria en la relatividad especial, sería anacrónico atribuir a tal potencialidad la ventaja de la teoría de la relatividad especial sobre la teoría de Lorentz y Poincaré.

En conclusión, las cinco ventajas enumeradas arriba tienen que ser aceptadas con muchas reservas.

### ¿Es posible explicar la superación de la teoría de Lorentz-Poincaré por la de Einstein?

Hay puntos problemáticos en todos los análisis que tratan de explicar por qué la relatividad especial de Einstein superó la teoría de Lorentz y Poincaré.

1. Ellos consideran que hay dos teorías distintas (o paradigmas, o programas de investigación), la de Einstein y la de Lorentz y Poincaré.

Es difícil aceptar (1), ya que las *previsiones experimentales* de la relatividad especial de Einstein son las mismas que las de Lorentz y Poincaré. Sería preferible decir que Einstein propuso una *interpretación* diferente de la teoría antigua, pero no una *teoría* distinta.

2. Los análisis presuponen que, como hecho histórico, la teoría de la relatividad de Einstein efectivamente superó a la teoría de Lorentz y Poincaré.

Es un hecho histórico que no hubo una aceptación general de la teoría de Einstein y un rechazo de la teoría del éter durante diez años después de 1905. Si la teoría de Einstein era mejor, eso no aparecía en el consenso de los científicos en los años posteriores. Bajo el punto de vista histórico, solamente después del año 1919 hubo una aceptación casi general de la importancia del trabajo de Einstein y una disminución del valor atribuido a los trabajos de Lorentz y Poincaré. No hubo hasta 1919 un consenso entre los científicos de que la teoría de la relatividad especial de Einstein era superior a la teoría de Lorentz y Poincaré y, por lo tanto, es difícil aceptar (2).

3. Las explicaciones admiten que es posible comprender la presunta superación bajo una perspectiva epistemológica particular, mediante el análisis de características epistémicas que solamente estaban presentes en la teoría de la relatividad.

Las diferencias que se percibían en los diez primeros años después de 1905 eran la *claridad* y *simplicidad* del abordaje de Einstein; y el *rechazo del éter* por moti-

vos epistemológicos. Bajo el punto de vista lógico, es posible reformular y presentar la teoría de Lorentz y Poincaré con la misma claridad y simplicidad que Einstein empleó - por lo tanto, no es una diferencia *esencial* entre sus concepciones. El único conflicto claramente existente entre los dos abordajes, en los diez primeros años después de 1905, era de naturaleza epistemológica (empirista): el rechazo (por Einstein) de los entes que no eran directamente observables, como el éter.

Si, en los diez primeros años después del 1905, la relatividad especial de Einstein había superado la teoría de Lorentz y Poincaré, la única explicación posible sería: por su postura empirista. Sin embargo, para aceptar tal conclusión, hay que admitir que:

(P1) La interpretación empirista de la teoría de la relatividad (con el rechazo del éter y otros entes inobservables) era realmente una ventaja epistémica.

(P2) El abordaje de Lorentz y Poincaré no tenía otras ventajas por sobre el abordaje de Einstein.

Sabemos, como hecho histórico, que Einstein estaba fuertemente influenciado por Ernst Mach en principios del siglo XX, y que su actitud epistemológica reflejaba tal influencia:

Los conceptos solamente tienen significado si podemos indicar los objetos a los cuales ellos se refieren y las reglas por las cuales ellos [los conceptos] están asociados a tales objetos. (Einstein, 1916)

Los conceptos y diferencias solamente son admisibles cuando uno puede asociarles hechos observables, sin ambigüedad (exigencia de que los conceptos y diferencias tienen que tener un significado). Tal postulado, que pertenece a la epistemología, exhibe una importancia fundamental. (Einstein, 1967)

Esta actitud *prohíbe* el empleo de entes no observables en la ciencia y *exige* que todos los conceptos de la ciencia puedan traducirse o asociarse a hechos observables. Tal imperativo fue el fundamento del rechazo del éter por Einstein (Martins, 1981). Aun en este caso, ¿qué valor tiene la interpretación empirista de la ciencia y el rechazo de los entes inobservables?

Si tal actitud tiene valor, hay que emplearla para evaluar *todas* las teorías científicas, en todos los tiempos. La teoría de la relatividad general *no obedece* a las restricciones empiristas; por lo tanto, si el criterio empirista es válido, la teoría de la relatividad general es inválida. La mecánica cuántica *trataba de obedecer* a las restricciones empiristas, pero en este momento Einstein no aceptaba tales restricciones y, por esto, criticó la interpretación de Copenhagen.

En una época posterior, Einstein comentó:

Para que un sistema lógico pueda ser considerado una teoría física no es necesario exigir que todas sus aserciones puedan ser 'testadas' y interpretadas 'operacionalmente' de forma independiente; *de hecho, ninguna teoría lo logró, ni puede lograrlo*. Para que una teoría pueda ser considerada una teoría física es necesario solamente que ella implique aserciones que puedan ser testadas, de modo general. (Einstein, 1949)

De acuerdo con el Einstein más viejo, por lo tanto, no había nada de equivocado, bajo el punto de vista epistemológico, en la teoría de Lorentz y Poincaré. Y nosotros, ¿estamos de acuerdo con el joven Einstein, o con el viejo?

Creo que nadie acepta, en nuestros días, el imperativo empirista. Bajo el punto de vista histórico, había científicos (como el joven Einstein) quienes lo aceptaban. Para ellos (pero no para nosotros) el rechazo del éter sería el motivo principal para elegir el abordaje de Einstein. No obstante, para los que no aceptan el imperativo empirista, no había ningún motivo para rechazar el abordaje de Lorentz y Poincaré.

Sin embargo, incluso en el caso de los que aceptaban el empirismo, solamente sería racional rechazar el abordaje de Lorentz y Poincaré y aceptar el de Einstein si:

(P3) El trabajo de Einstein (de 1905) obedecía rigurosamente a los criterios empiristas; y

(P2) El abordaje de Lorentz y Poincaré no tenía otras ventajas por sobre el abordaje de Einstein.

Ni (P2) ni (P3) son correctos.

El trabajo de Einstein (de 1905) tenía una cuidadosa descripción de los procedimientos de medida de tiempo y espacio, pero no describía los procedimientos de medida dinámicos: él no especificaba cómo eran medidas las magnitudes como campo eléctrico y magnético, fuerza y masa para cuerpos en movimiento (Martins, 1981). Por lo tanto, el trabajo de Einstein de 1905 no obedecía rigurosamente a los criterios empiristas.

Por otro lado, el abordaje de Lorentz y Poincaré sí tenía ventajas que fueron perdidas en el abordaje de Einstein, porque el éter tenía un empleo como explicación causal, sin equivalente en el abordaje de Einstein. Para Lorentz y Poincaré, los cuerpos en movimiento cambian su tamaño porque se mueven en el éter, y eso cambia las fuerzas entre sus partículas.

No nos concierne si el éter realmente existe: eso es un problema para los metafísicos. Para nosotros lo que es importante es que todo ocurre como si él existiera y que esa hipótesis es adecuada para la explicación de los fenómenos. (Poincaré, 1902)

Cuando uno rechaza el éter, los campos electromagnéticos y las ondas electromagnéticas pierden su soporte físico y es igualmente imposible comprender la causa de los efectos relativistas (como la contracción de los cuerpos). Para Einstein, el cambio de tamaño es deducido a partir del análisis del procedimiento de mensura, pero no tiene una causa.

El físico inglés Oliver Lodge, quien se oponía a la relatividad de Einstein, escribió:

En tal sistema [la teoría de la relatividad] no hace falta una Realidad; solamente los fenómenos pueden ser observados o verificados: el hecho absoluto es inaccesible. No tenemos criterio de verdad; todas las apariencias son igualmente válidas; explicaciones científicas no son necesarias ni bienvenidas; no hay necesidad de una teoría eléctrica o de otro tipo sobre la constitución de la materia [...].

Debemos admitir que, si logramos descartar la relatividad como filosofía y aceptarla como un método, la forma de sus ecuaciones más notables es ventajosa y representa un avance en el simbolismo, independiente de cualquier contribución anti-físicas de su origen, y de cualquier falla de legitimidad de su nacimiento. (Lodge, 1921)

## Consideraciones finales

El abordaje de Einstein tenía un aspecto epistemológico que parecía fundamental para algunos científicos de la época – el rechazo (el cual no era sistemático ni totalmente coherente) de entes no observables-. Bajo tal aspecto, el abordaje de Einstein era preferible al de Lorentz y Poincaré para los empiristas.

El abordaje de Lorentz y Poincaré tenía un aspecto epistemológico que parecía fundamental para otros científicos de la época – las explicaciones causales, que empleaban el éter-. Bajo tal aspecto, el abordaje de Lorentz y Poincaré era preferible al de Einstein.

A principios del siglo XX, los dos abordajes parecían incompatibles, porque el empirismo prohibía el éter. En 1920, Einstein declaró su aceptación del éter, y quedó claro que es posible aceptar la teoría de la relatividad y el éter al mismo tiempo:

Lo que es fundamentalmente nuevo en el éter de la teoría de la relatividad general en contra el éter de Lorentz es esto, que el estado del primero [el éter de la relatividad general] es determinado en cada parte por conexiones con la materia y el estado del éter en lugares vecinos, que están sujetas a leyes bajo la forma de ecuaciones diferenciales; mientras el estado del éter de Lorentz en ausencia de campos electromagnéticos no está condicionado por nada afuera de ello, y es el mismo por toda parte. El éter de la teoría general de la relatividad se transforma conceptualmente en el éter de Lorentz si reemplazamos por constantes las funciones del espacio que describen el [éter] anterior, omitiendo las causas que condicionan su estado. Por lo tanto pienso que podemos decir que el éter de la teoría general de la relatividad es el resultado del éter de Lorentz, bajo una relativización. (Einstein, 1920)

Einstein estaba hablando sobre la relatividad general. Sin embargo, la relatividad especial es el caso límite de la relatividad general, cuando no hay campo gravitacional. En este caso, según Einstein, no hay diferencia conceptual entre el éter de la relatividad general y el éter de Lorentz. Por lo tanto, en cierto sentido, la relatividad general es un producto del programa de investigación del éter de Lorentz y Poincaré...

En los primeros años del siglo XX, no era posible decidir racionalmente entre los enfoques de Lorentz y Poincaré y el de Einstein. Los dos abordajes tenían ventajas epistemológicas particulares, que no existían en el otro. Por lo tanto, ninguno de ellos era superior al otro. En tal situación, no es posible elegir racionalmente entre los dos abordajes.

¿Qué deben los científicos hacer cuando hay conflictos de este tipo?

La visión realista más común de los científicos los lleva a elegir de cualquier modo una de las propuestas, pero no es necesario hacerlo. Si las dos propuestas logran satisfacer a diferentes valores científicos, hay que tratar de buscar a una tercera perspectiva que conjugue todos estos valores. Mientras no se logra eso, es preferible emplear una y otra, sin rechazar ninguna (Martins, 2001).

Era imposible unir el enfoque de Einstein al enfoque de Lorentz y Poincaré mientras el primero consideraba el empirismo como una exigencia. Cuando Einstein renunció al empirismo como imperativo, él mismo volvió al éter, sin el cual no era posible comprender los fenómenos físicos.

### Agradecimientos

El autor agradece el soporte recibido de FAEP/UNICAMP para la presentación de este trabajo. Agradece asimismo al Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico de Brasil (CNPq), cuyo apoyo permitió la realización de esta pesquisa, y a Luis Salvatico, quien corrigió el texto castellano de este artículo.

### Bibliografía

- Einstein, Albert. "Zur Elektrodynamik bewegter Körper". *Annalen der Physik* 17: 891-921, 1905.
- Einstein, Albert. "Ernst Mach". *Physikalische Zeitschrift* 17: 101-104, 1916.
- Einstein, Albert. *Äther und Relativitätstheorie. Rede gehalten am 5 Mai 1920 an der Reichs-Universität zu Leiden*. Berlin: Julius Springer, 1920.
- Einstein, Albert. "Reply to criticisms". In: Schlipp, P. A. (ed.). *Albert Einstein: philosopher-scientist*. La Salle: Open Court, 1949.
- Einstein, Albert. "Fundamental ideas and problems of the theory of relativity". *Nobel lectures - physics. 1901-1921*. Amsterdam: North Holland, 1967.
- Granek, Galina. "Einstein's ether: why did Einstein come back to the ether?". *Apeiron* 8: 19-28, 2001.
- Lodge, Oliver. "The geometrization of physics and its supposed basis on the Michelson-Morley experiment". *Nature* 106: 795-802, 1921.
- Martins, Roberto de Andrade. "Use and violation of operationalism in relativity". *Manuscripto* 5 (2): 103-15, 1981.
- Martins, Roberto de Andrade. "A Popperian evaluation of Einstein's theory-plus-method". *Manuscripto* 9 (2): 95-124, 1986.
- Martins, Roberto de Andrade. "Intrinsic values in science". *Revista Patagónica de Filosofía* 2 (2): 5-25, 2001.
- Martins, Roberto de Andrade. "Mechanics and electromagnetism in late 19th century: the dynamics of Maxwell's ether". In: Capria, Marco Mamone (ed.). *Physics before and after Einstein: an historical perspective*. Amsterdam: IOS Press, 2005.
- Poincaré, Henri. *La science et l'hypothèse* [1902]. Paris: Gallimard, 1935.
- Whittaker, Edmund T. *A history of the theories of aether and electricity*. New York: Humanities Press, 1973. 2 vols.
- Zahar, Elie. "Einstein's debt to Lorentz: a reply to Feyereabend and Miller". *The British Journal for the Philosophy of Science* 29: 49-60, 1978.