

La Relatividad cumple 100 años. Einstein y la investigación científica

Leonor Colombo de Cudmani

Departamento de Física. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
Universidad Nacional de Tucumán. Argentina.
lcudmani@herrera.unt.edu.ar

Se analizan las ideas de Einstein acerca de los métodos de la investigación científica recurriendo, especialmente, a sus trabajos originales tales como sus Notas Autobiográficas y sus intercambios epistolares. La visión epistemológica está orientada hacia cuestiones que se consideran valiosas en la enseñanza de la ciencia. Palabras clave: ideas de Einstein, métodos de la ciencia, aprendizaje de la ciencia.

Einstein's ideas about scientific research methods are analyzed taking into account his original papers, such as Autobiographical Notes and letters. The epistemological vision focusses on topics of special value in science teaching.

Keywords: Einstein's ideas, science methods, science learning.

Diversos autores (Northrop, 1970; Blanché, 1972) han destacado y valorizado la importancia de los *dos talentos* de A. Einstein, quien no sólo es exitoso en el empleo de los métodos de la ciencia para alcanzar importantes logros científicos sino que se preocupa explícitamente del análisis epistemológico sobre las características de ese método.

Esta doble capacidad no es frecuente entre los científicos exitosos.

Ellos se comportan generalmente como los "... atletas, quienes actúan espontáneamente con éxito, pero a menudo no pueden enseñar a otros cómo lo logran. Albert Einstein, sin embargo, es una excepción a esta regla ilustrada con numerosos ejemplos en la historia de las ciencias. Él presta tanta atención, conciente y técnicamente, al método de la ciencia como la que da a los fundamentos teóricos de la Física a la cual aplica el método científico" (Northrop, op. cit., p. 387).

Es por eso que la dimensión docente de su obra resulta tan importante tanto para el aprendizaje de la ciencia como para la formación en investigación.

Esta doble característica de sus reflexiones ha quedado, felizmente reflejada en testimonios directos en los cuales Einstein registra, a menudo coloquialmente, los procesos de su pensamiento creador. Tal es el caso de sus Notas Autobiográficas y de su rica documentación epistolar (Einstein, 1970; 1994).

El mismo Einstein reflexiona al respecto: "Si Ud. espera encontrar en los físicos teóricos algo sobre los métodos que ellos usan, yo le advierto que se ajuste al siguiente principio: no escuche sus palabras, fije su atención en lo que hacen" (Einstein, 1934, p. 30).

Pero estas palabras no debieran ser malinterpretadas: cuando Einstein habla de lo que los científicos hacen, no debe entenderse que él está sosteniendo la concepción reduccionista del operacionalismo, limitada sólo a experimentos y operaciones realizadas en un laboratorio. Einstein lo aclara: "Para aquel que es un descubridor en su campo, el producto de su imaginación aparece tan necesario y natural que él lo ve y espera que otros lo vean, no como una creación del pensamiento sino como una realidad dada" (Einstein, 1934).

Él entiende que el significado profundo de la Física Teórica está dado tanto por la parte empírica, operaciones y experimentos, como por el pensamiento y la imaginación que genera la formulación deductiva y sistemática, la construcción concebida intelectualmente y no la mera inmediatez sensorial de los hechos. Einstein adhiere así, a la concepción constructivista del conocimiento que se plantea actualmente desde la psicología cognitiva, como lo hacen todas las más actuales teorías de aprendizaje.

Su personalidad aparece en toda su complejidad en la literatura sobre su obra y sobre su persona, con tantas facetas que parecería que su figura se multiplicara en una cantidad de imágenes, muchas veces contradictorias. En la historia de la Física, sólo Galileo generó un fenómeno similar. ¿Deberíamos ver quizás, en esa gran complejidad, una característica de la genialidad?

Así como Galileo ha generado y sigue generando múltiples discusiones e interpretaciones, especialmente en lo que se refiere a los experimentos y datos empíricos en que basaría sus conclusiones (Koyré, 1981; Gaymonat, 1968), el pensamiento de Einstein ha sido interpretado desde enfoques epistemológicos opuestos, tomando sus métodos como ejemplos claros, tanto de posiciones empiristas y positivistas como de las del idealismo Kantiano.

Blanché (1972) hace interesantes reflexiones sobre la Relatividad y la Filosofía de la ciencia. Considera que, puesto que esta teoría rescata las determinaciones accesibles a la experiencia, “con la prohibición que entraña para el físico hablar de un ‘en sí’” (op. cit., p. 1), ella estaría en consonancia con los fundamentos epistemológicos de la metodología positivista y fenomenalista.

Bridgman (1927) por su parte, desarrolla una teoría *operacionalista* en base a su interpretación de la realidad: “...si recordamos que las operaciones a la que el concepto físico es equivalente son las operaciones físicas efectivas, los conceptos no podrán ser definidos sino dentro de la experiencia efectiva” (Bridgman, 1917, citado por Blanché, p.4). Ejemplifica esta posición con la manera en que Einstein trata el concepto de simultaneidad: “An-

tes de Einstein este concepto se define en términos de propiedades... Entonces Einstein sometió el concepto de simultaneidad a una crítica que consistió esencialmente en que las operaciones que nos permiten describir dos sucesos como simultáneos implican medidas hechas por un observador sobre ambos acontecimientos, de manera que la “simultaneidad” no es propiedad sin más de dos acontecimientos, sino que debe también envolver la relación de los acontecimientos con el observador” (op. cit, p. 4).

Se muestra a Einstein como el paladín de prescripciones metodológicas tan caras al positivismo: tratar sólo con *observables*, trabajar sólo con conceptos que puedan definirse operacionalmente. El mismo Einstein se encarga de desmentirlo en un famoso diálogo con Heisenberg, que se reproduce en un artículo anterior de esta revista (Colombo de Cudmani, 1993).

Heisenberg defiende ante Einstein su conocida posición sobre los *observables*, manifestándole que ésa fue la idea que guió al mismo Einstein en la formulación de su Teoría de Relatividad basada en una *definición* operacional de simultaneidad y tiempo. Einstein reconoce que así pudo haber sido, que en efecto había usado esa filosofía pero aclara textualmente: “¡Oh sí, pude haberla usado pero no tiene sentido!” (Heisenberg 1989, op. cit. 1993, p. 42).

Bridgman reconoce en su trabajo antes citado que “No hay ningún texto, ni en Einstein ni en otros autores, en el que se haya expresado conscientemente el cambio que acabamos de describir, en el uso de los conceptos” (op. cit, p. 4).

Es oportuno en este punto, detenernos en la discusión epistemológica para hacer un breve paréntesis referido a como permearon estas ideas, la enseñanza de la Teoría de la Relatividad.

¿Cuál ha sido la interpretación más frecuente del pensamiento de Einstein en la enseñanza de la Física?

En otro trabajo (Colombo de Cudmani, 2005) se analiza cómo la enseñanza de la Física ha adherido tradicionalmente a la concepción empirista y positivista, quizás porque, como sostiene Northrop (1970, p. 389), “es mucho más simple afirmar que los significados

de la ciencia están dados empíricamente, inmediatos positivamente, denotativos particulares que sostener que la fuente del pensamiento científico es mucho más complicada que eso”.

Un ejemplo del predominio de esta posición lo encontramos en la bibliografía usual cuando se hace referencia al origen, a la génesis de las hipótesis en la Teoría de la Relatividad especial.

La idea que aparece con mayor frecuencia en la bibliografía es la de atribuir el origen de las hipótesis a la necesidad de interpretar los resultados experimentales de la experiencia de Michelson - Morley.

Particularmente los textos con que se enseña esta teoría, recurren a este tipo de explicación que es coherente con el paradigma empirista e inductivista dominante en la ciencia durante gran parte del siglo XX.

En efecto, la consulta sobre este particular a seis de los textos más usados en la enseñanza, muestra que cinco adhieren a esta interpretación. Uno de ellos, el de Feynman (1970, párr. 15-3) sostiene: “... se hicieron intentos para determinar la velocidad absoluta de la tierra a través del hipotético “eter”... El más famoso de estos experimentos es el de Michelson - Morley en 1887. Sólo dieciocho años más tarde Einstein explicó finalmente los resultados negativos del experimento”.

En el texto del Berkeley Physics Course (1968, p.345) cuando se introduce el tema de Relatividad se afirma refiriéndose a Einstein: “El resultado negativo del experimento de Michelson - Morley para detectar el movimiento de la tierra a través del éter puede comprenderse sólo si hacemos un cambio revolucionario... se necesita un nuevo principio sencillo y claro: la velocidad de la luz es independiente del movimiento de la fuente luminosa o del receptor”.

Otros textos hacen referencias similares (Alonso y Finn, 1987; Frisch y Timoreva, 1987; Bueche, 1990). Resnick, Halliday y Kenneth (1998), es el único de los seis textos consultados que dice explícitamente que **no** es la experiencia de Michelson - Morley el origen de estas consideraciones, de las hipótesis de Einstein, sino la asimetría entre el campo eléctrico y magnético.

Sin embargo, Einstein es claro al respecto.

En efecto, en su trabajo original, *Zur Elektrodynamik Bewegter Körper*”, de los *Annalen der Physik* de 1905, cuyo centenario se celebra en este año de 2005, encontramos una exposición muy clara sobre el rol que jugaron las simetrías exigidas a las leyes de la Física en el pensamiento einsteniano a la hora de formular su teoría: “*Es sabido que la aplicación de la electrodinámica de Maxwell a los cuerpos en movimiento, en la forma en que actualmente se acostumbra a hacerla, conduce a asimetrías que no parecen intrínsecas a los fenómenos mismos. En la interacción de un imán y un conductor, por ejemplo, el fenómeno observable depende sólo del movimiento relativo entre ambos, mientras que su interpretación usual exige la consideración rigurosamente separada de dos casos, según se mueva uno u otro de los cuerpos*”.

Como se ve, Einstein apela a criterios de simetrías, según él exigibles a las leyes de la naturaleza. Por otra parte, en sus Notas Autobiográficas afirma taxativamente: “*La Teoría de la Relatividad reconoce sus orígenes a las Ecuaciones de Maxwell para el campo electromagnético*” (op. cit., p. 63).

No puede sorprender entonces, que de diez profesores de Física, no especialistas en Relatividad pero que la incluyen en sus programas de Mecánica (en ciclos básicos universitarios y de educación superior) al ser consultados sobre cuál sería a su entender, el origen de las ideas de Einstein sobre Relatividad, ocho hayan respondido, casi sin vacilar, que ellas surgieron de la necesidad de salvar los resultados experimentales de Michelson-Morley. Estos resultados los obtuve de una encuesta a participantes de un curso de postgrado sobre aportes de la Física a la epistemología, en el cual, como es de suponer, se dio particular importancia a la teoría de la relatividad.

Volviendo a las anteriores consideraciones, Hans Reichenbach (1949), por su parte, interpreta que la Mecánica relativista, al dejar de lado la síntesis *a priori* de Kant, es una confirmación definitiva del empirismo lógico: “*Es pues a la filosofía del empirismo a la que pertenece la Relatividad de Einstein. Sin duda el empirismo de Einstein no es el de Bacon o el de Mill, que creyeron que todas las leyes de la*

naturaleza pueden ser descubiertas por meras generalizaciones inductivas. El empirismo de Einstein es... un empirismo en el que la construcción matemática se concibe de modo que enlace los datos de la observación con operaciones deductivas y nos permite predecir nuestras observaciones” (op. cit., p. 7).

Blanché aclara que sin que estas conclusiones carezcan de algún fundamento son, sin duda, unilaterales y apoyadas en la Relatividad restringida pues sería difícil sostenerlas con la Relatividad general: “... sostiene (Einstein) que el objeto de la Física Teórica no es tanto enlazar las leyes en una generalización superior como hacernos comprender la estructura profunda de lo real y que el método para llegar a eso no es el de un prudente paso inductivo, sino la libre construcción intelectual” (op. cit., p. 1).

En su Carta del 6 de enero de 1948, Einstein rescata la importancia del elemento **constructivo libre** en la elaboración de las teorías.

Con referencia a la gran influencia de las ideas de Mach, sobre su teoría, muestra su particular interés por esta interesante cuestión de la Filosofía de la ciencia al expresar, refiriéndose a ese autor: “yo veo su punto débil en el hecho de que creía un poco más o menos que la ciencia consistía en poner orden en el material experimental, es decir, que ignoró el elemento constructivo libre en la elaboración de un concepto. Pensaba de alguna manera que, las teorías son el resultado de un descubrimiento y no de una invención. Iba incluso tan lejos, que consideraba las sensaciones no solamente como material concebible, sino incluso, en cierta medida, como los materiales de construcción del mundo real; creía poder llenar así el foso que existe entre la psicología y la física. Si hubiera sido del todo consecuente, no solamente habría debido rechazar el atomismo, sino incluso la idea de una realidad física. En cuanto a la influencia de Mach sobre la evolución de mi pensamiento, ha sido ciertamente muy grande... Hasta qué punto han influido sobre mi propio trabajo, hablando francamente, no lo veo con claridad. Por lo que recuerdo, D. Hume ha ejercido sobre mí una influencia directa más grande... Pero, como acabo de decir no estoy en condiciones de

analizar aquello que quedó anclado en mi subconsciente. Por lo demás es interesante observar que Mach rechazó con encarnizamiento la teoría de la relatividad restringida (ya no vivía en la época de la teoría de la relatividad general). La teoría le parecía sobrepasar en especulación todo cuanto está permitido. No sabía que este carácter pertenece también a la Mecánica de Newton y, en general, a toda teoría imaginable” (op. cit., p. 353-54).

Esta valorización de la construcción y sistematización racional lo lleva a las raíces griegas de la ciencia occidental con su fuerza motivadora e impulsora de la investigación científica: “Reverenciamos a la antigua Grecia como la cuna de la ciencia occidental. Por primera vez se explicita el milagro de un sistema lógico, el cual procede etapa por etapa con tal precisión que cada proposición deducida es absolutamente indudable. Me refiero a la Geometría de Euclides. Este admirable triunfo de razonamiento da al intelecto humano la confianza necesaria en sí mismo y en sus subsecuentes logros. Si Euclides fallara en encender vuestro entusiasmo juvenil, interior, Uds. no habrán nacido como pensadores científico...” (Einstein, 1934, p. 31-33).

En sus *Notas Autobiográficas* nos cuenta su sorpresa cuando, a los cuatro o cinco años de edad, su padre le llama la atención sobre el comportamiento de la aguja imanada de una brújula. Esto le deja una impresión muy profunda. También nos habla aquí de la maravillosa experiencia que tuvo cuando a los doce años, cayó en sus manos un pequeño libro sobre la geometría euclidiana. El diálogo entre teoría y formalización comienza muy temprano (op. cit., p. 9).

En efecto, su admiración sobre los métodos teóricos y racionales no le impide valorizar la importancia de las cuestiones empíricas puesto que a continuación de sus reflexiones anteriores sobre Euclides afirma: “Pero antes de que el mundo esté acabado para una ciencia que toma en cuenta toda la realidad, es necesaria una segunda verdad fundamental, la cual se vuelve un lugar común entre los filósofos con el advenimiento de Kepler y Galileo. El pensamiento lógico puro no puede generarnos conocimiento del mundo empírico. Todo co-

nocimiento de la realidad arranca de la experiencia y termina en ella. Las proposiciones a las que se llega por medios puramente lógicos están completamente vacías como estimación de la realidad. Precisamente porque Galileo dice eso y porque insiste en el mundo científico, él es el padre de la Física moderna, en realidad de toda la ciencia moderna” (op. cit., p. 33).

El valor que da a la validación experimental también se evidencia en sus Cartas (Einstein, 1994). Hay numerosas referencias del júbilo y el entusiasmo con que recibe las noticias sobre las confirmaciones experimentales de sus teorías.

En su Carta del 10 de diciembre de 1915 escribe: “*Los más audaces sueños se han convertido en realidad. Covariancia general. Movimiento del perihelio de Mercurio, a precisión espléndida. Esto último está perfectamente asegurado desde el punto de vista astronómico pues las determinaciones de las masas de los planetas interiores han sido realizadas por Newcomb según las perturbaciones periódicas (y no las seculares)*” (op. cit., p.114).¹

En la del 21 de diciembre de ese año recomienda a Besso: “*¡Lee las publicaciones; Nos sacan definitivamente del atasco. Lo que más me alegra es la exactitud del perihelio y la covariancia general, pero lo más notable es que la teoría newtoniana del campo sea falsa ya para las ecuaciones de primer orden*” (p. 116). En la del 12 de febrero afirma: “*desde el punto de vista científico, tengo dos bellos resultados que comunicarte: Gravitación. Corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales... La masa de las estrellas dobles se obtiene por las desviaciones periódicas de las líneas Doppler. La componente de mayor masa debe mostrar un corrimiento hacia el rojo respecto de la componente de menor masa. Esto se ha comprobado. Como se puede estimar los radios de las estrellas (según su tipo espectral) resulta una comprobación cuantitativa de la teoría que se revela muy satisfactoria*” (p. 113).

Las dificultades que resultan de la necesidad de conciliar lo empírico con lo teórico al recorrer el complejo camino entre datos expe-

rimentales y postulados están presentes permanentemente en sus reflexiones: “*El camino es tan difícil que ningún método puede ser desechado; no puede excluirse ninguna fuente de significados, imaginativa, teórica o de cualquier otra clase*” (Northrop, op. cit., p. 394).

En una larga carta del 10 de agosto de 1954 hace referencia a las dificultades que plantea conciliar un concepto como el de *sistema de referencia*, con un hecho experimental, la *constancia de la velocidad de la luz*, ambos, postulados básicos de su teoría relativista: “*Si el investigador no peca jamás contra la razón, no llegará a nada que sea significativo*” sostiene en una carta a su amigo Solovine.

Recordemos también, para concluir con esta cuestión, la solemne declaración de Einstein: “*Ningún camino de lógica lleva a las leyes elementales de la Naturaleza; allí tan sólo conduce el sendero de la intuición, apoyada en él*” (Papp, 1979).

Numerosos especialistas, como Northrop, Papp, Blanché, detectan en las concepciones einstenianas, una importante revolución metodológica: el uso de la epistemología como herramienta en la investigación de los fenómenos naturales, coherente con su posición manifestada explícitamente respecto a la génesis de las hipótesis científicas y su validación experimental, que se ha tratado de documentar en este trabajo.

Pero fue, quizás, su suposición de que las construcciones científicas que se usan para interpretar la realidad pueden adquirir estos aspectos paradójales, los cuales parecen contradecir tanto nuestras percepciones como principios racionales que parecían incontrovertibles, lo que marcó su superioridad sobre pensadores contemporáneos como Poincaré, Lorentz o Mach.

La física fue siempre, para este genio *Una aventura del pensamiento*. Sería deseable que quienes la enseñamos fuéramos capaces de transmitir esa actitud.

De ser así habríamos brindado a Einstein el mejor de los homenajes.

1. Newcomb, Simón “Periodic perturbacions of the longitud and rad. vect. of de inner planets of 1st order as to their masses” Washington Astron Papers 3 (1891). Referencia tomada de una nota aclaratoria de Espeziali, P., en la referencia bibliográfica: Einstein, A. (1994).

Referencias

- Alonso, M. y Finn, E. (1987). *Física*. Vol I. Fondo Educativo Interamericano SA.
- Bueche, E. (1990). *Física*. Tomo I. México: Mc Graw Hill.
- Blanché, R. (1972). México: Fondo de Cultura Económica.
- Bridgman, P. N. (1927). *The logic of Modern Physics*, pp. 3, 9, y 23-24. N.Y.: Mac Millan. Citado por Blanché, R. (1972)
- Colombo de Cudmani, L. (1993). Einstein y Heisenberg. *Revista de Enseñanza de la Física*. 6 (2), pp. 54-55.
- Colombo de Cudmani, L. (2005). La génesis de las hipótesis y su convalidación en la teoría de la relatividad. En Jorge Saltor (ed.): *Estudios sobre Einstein y la teoría especial de la relatividad*. Tucumán: UNSTA.
- Einstein, A. (1905). Elektrodynamik Bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 37.
- Einstein, A. (1934). The World As I See It. N. Y.: Covici Friede Publishers. En Schilpp, P. A . (1970). *Albert Einstein*. N. Y.: MJF Books.
- Einstein, A. (1970). Autobiographical notes. Institute for Advanced Study. Princeton. New Jersey. En P.A.Schilpp (ed.): *Einstein, Philosopher Scientist*. N.Y.: MJF Books.
- Einstein, A. (1994). Correspondencia con Michele Besso. Pierre Speziali (ed.), Barcelona: Tusquets Editores.
- Feynman, R.; Leighton, R. y Sands, M. (1970). *The Feynman Lectures on Physics*. Vol. I. Addison Wesley.
- Frisch, S. y Timoreva, A. (1987). *Curso de Física General*. Moscú: Mir.
- Gaymonat, L. (1968). Galilée. Citado por: Thuiller, P. (1983), en Galileo y la experimentación. *Mundo científico*, 26, p. 584.
- Heisenberg, W. (1989). Theory, criticism and philosophy. *From a life of Physics*. Recopilación de Abdus Salam, World Scientific.
- Kittel, Ch.; Knight, W. y Ruderman, M. (1968). *Mecánica*. Tomo 1. Berkeley Physics Course. Barcelona: Reverté.
- Koyré, A. (1981). *Estudios Galileanos*. Argentina: Siglo XXI editores.
- Northrop, F. S. C. (1970). Einstein conception of science. Yale University. En Einstein, Philosopher Scientist. Trieste.
- Papp, D. (1979). ¿Es una paradoja la fuente primaria de la teoría de la Relatividad? Reflexiones en ocasión del centenario Einsteniano. *Ciencia Interamericana*. 20 (1) y (2). OEA. Washington. DC.
- Resnick, R.; Halliday, D. y Kenneth, V. (1998). *Física*. Vol I. México: Continente S.A.
- Reichenbach, H. (1949). The Philosophical significance of the theory of Relativity. La sale III. Open Eocent, pp306-310. Citado por Blanché, R. (1972).