

## ALBERT EINSTEIN Y LA FILOSOFÍA ACTUAL DE LA CIENCIA

*Andrés Rivadulla\**

La relación mutua entre epistemología y ciencia es curiosa. Dependemos la una de la otra. La epistemología sin contacto con la ciencia es un proyecto vacío. La ciencia sin epistemología -en el caso que sea pensable- es primitiva y difusa.

*A. Einstein<sup>†</sup>*

Para que una teoría pueda ser considerada una teoría física sólo es necesario que implique enunciados empíricamente comprobables.

*A. Einstein<sup>‡</sup>*

### Resumen

Uno de los físicos teóricos más importantes del siglo XX, Albert Einstein, cuya teoría de la relatividad revolucionó nuestra visión del cosmos, es también una de las personas que mayor influencia ejerció

---

\* Profesor de la Universidad Complutense de Madrid.

Correo electrónico: arivadulla@filos.ucm.es

Trabajo realizado en el marco del grupo complutense de investigación *Filosofía del lenguaje, de la Naturaleza y de la ciencia*, Ref. 930174, y del proyecto de investigación sobre *Modelos teóricos en ciencia y racionalidad pragmática*, Ref. FFI2009-10249, financiado por el Ministerio de Ciencia e Investigación del Reino de España

<sup>†</sup> En Einstein (1949), p. 507.

<sup>‡</sup> En Einstein (1949), p. 504.

en el desarrollo de la filosofía de la ciencia. Conceptos fundamentales de la metodología popperiana de la ciencia fueron anticipados por él: la posición antiinductivista, la noción de falsabilidad, y otras, amén de un planteamiento realista en ciencia, en mecánica cuántica en particular, que tanta tinta hizo correr no sólo entre filósofos sino tal vez, más aún, entre físicos teóricos. El objetivo de este artículo es presentar una por una sus aportaciones a la filosofía actual de la ciencia.

### INTRODUCCIÓN

Que la mayoría de los grandes físicos del siglo XX han hecho importantes contribuciones a la filosofía de la ciencia es un hecho incontrovertible, aunque la filosofía profesional de la ciencia no siempre haya tenido suficientemente en cuenta sus aportaciones. Entre ellos destaca Albert Einstein (1879-1955), premio Nobel de física en 1921 por su explicación del efecto fotoeléctrico. Este fenómeno físico constituía un tema pendiente desde 1887, cuando fue descubierto por Wilhelm Hallwach y Heinrich Hertz, y cuestionaba el paradigma ondulatorio de la luz. No obstante la gran contribución de Einstein fue la teoría de la relatividad. Los *Annalen der Physik* de 1905 y 1916 ofrecieron sus páginas a esta teoría. Hace cinco años se conmemoró el primer centenario de la teoría de la relatividad, y el cincuenta aniversario de la muerte de Einstein. Ocasiones más que justificadas para que la filosofía iberoamericana de la ciencia le rinda un homenaje.

No es mi intención, empero, hacer especial hincapié en las contribuciones de Einstein a la física contemporánea, buena parte de las cuales he expuesto en Rivadulla (2003). La explicación teórica del movimiento browniano; la demostración de la equivalencia de masa y energía, básica y fundamental, para la física nuclear; su aportación a la teoría cuántica de la radiación a través de los 'coeficientes de Einstein'; su contribución a la mecánica estadística cuántica; su decisivo papel en la discusión de los fundamentos de la mecánica cuántica; por no hablar de su desarrollo de las teorías especial y general de la relatividad, así como de la cosmología teórica, son algunas de sus aportaciones fundamentales a la física teórica.

No menos importantes son sus contribuciones a la filosofía de la física, que he destacado en Rivadulla (2004), menciono seguidamente, y cuya justificación constituirá el núcleo principal de mi contribución: su posición realista en física; su oposición a la inducción como método científico; su contribución a la teoría de la explicación en lo que debería

ser llamado el *modelo Einstein-Popper-Hempel de explicación científica*; su reconocimiento de la exigencia de falsabilidad y del papel que las refutaciones juegan en ciencia; su contribución a la teoría de la racionalidad científica a través de su defensa de la existencia de casos límite en física, etc.

#### LA CONTRIBUCIÓN DE EINSTEIN A LA FÍSICA TEÓRICA DEL SIGLO XX

2005 fue declarado *Año Mundial de la Física*. Fue el año del centenario de la Teoría de la Relatividad, y conmemoraba el *annus mirabilis* de Albert Einstein (1879-1955), año de sus cinco trabajos publicados en *Annalen der Physik*, entre 1905 y 1906, todos ellos recogidos en español en John Stachel (2001), y buena parte de ellos en Einstein (2005). Estos artículos son:

- “Sobre un punto de vista heurístico acerca de la producción y transformación de la luz”, Junio de 1905, en el que Einstein explicó el efecto fotoeléctrico, basándose en la hipótesis cuántica de Planck, y que le valió el Premio Nobel de Física en 1921;
- el segundo artículo llevaba por título “Sobre el movimiento, exigido por la teoría cinético-molecular del calor, de las partículas pequeñas suspendidas en líquidos en reposo”, Julio de 1905, y explicaba el movimiento de partículas de polen suspendidas en una solución acuosa, observado originariamente por Robert Brown;
- el tercer artículo, titulado “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, Septiembre de 1905, planteaba las bases de la teoría especial de la relatividad: constancia universal de la velocidad de la luz en el espacio vacío, relatividad de longitudes y tiempos, ecuaciones de transformación de Lorentz, etc;
- el cuarto artículo, “Una nueva determinación de las dimensiones moleculares”, Febrero de 1906, presentaba un nuevo método para la determinación del *número de Avogadro*, y contribuyó decisivamente al afianzamiento de la hipótesis de la estructura atómica y molecular de la materia;
- finalmente, el quinto artículo, “¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido de energía?”, Noviembre de 1905, proclamaba que la masa de un cuerpo es una medida de su contenido de energía, y avanzaba en la construcción de la teoría especial de la relatividad que iniciara en el tercero.

Transcurridos diez años, Einstein concluiría su teoría general de la relatividad, cuya tesis fundamental afirma que la gravedad es una consecuencia de la geometría del espacio-tiempo producida por la presencia de cuerpos masivos. Esta teoría tenía implicaciones cosmológicas para Einstein: la hipótesis de un cosmos finito, condenado al colapso gravitatorio, sería completada con la existencia de una repulsión (término cosmológico) que debería evitar la catástrofe. Las aportaciones teórico-relativistas de Alexander Alexandrovich Friedmann y las observacionales de Edwin Hubble<sup>1</sup> obligaron a Einstein a renunciar a su hipótesis.

También trató, sin lograrlo, de reducir la mecánica cuántica a la geometría. Pero sentó las bases de una concepción unitaria de la física, tan cara a los filósofos de la ciencia del positivismo lógico y de la concepción heredada. Ello no le impidió realizar contribuciones fundamentales a la mecánica cuántica, en particular a la mecánica estadística cuántica de bosones -*mecánica estadística cuántica de Bose-Einstein*-, con frutos tan extraordinarios como la deducción matemática, es decir, la *explicación teórica*, de la *Ley de Radiación de Planck*<sup>2</sup>.

Especial importancia adquieren en astrofísica los llamados *coeficientes de Einstein* que dan tanto la probabilidad por unidad de tiempo de que un átomo en un nivel de energía dado emita un fotón y pase a un nivel de energía inferior, como la probabilidad por unidad de tiempo de que un átomo sometido a un campo de radiación absorba un fotón y pase a un nivel de energía superior.

#### LA PRESENCIA DE EINSTEIN EN LA FILOSOFÍA ACTUAL DE LA CIENCIA

Si trascendentes, para el desarrollo de la física contemporánea, son sus contribuciones a la física teórica, no me parece menor su contribución a la filosofía actual de la ciencia.

Reconoce Einstein en su *Autobiografía*, p. 18, la importancia de Hume, de quien afirma que “vió claramente que determinados conceptos, el de causalidad por ejemplo, no pueden derivarse del material de la experiencia mediante métodos lógicos”, y calificó Einstein de errónea la convicción kantiana de que ciertos conceptos son imprescindibles, “premisas necesarias de todo pensamiento, distinguiéndolos de los conceptos de origen empírico”, y proponiendo por su parte que “Todos los conceptos, incluso

<sup>1</sup> Cfr. Rivadulla (2003), 158-159 y 230-244.

<sup>2</sup> Cfr. Rivadulla (2004), cap. 2.

los más próximos a la experiencia, son, desde el punto de vista lógico, supuestos libres, exactamente igual que el concepto de causalidad”.

Mención especial le merece a Einstein el libro de Ernst Mach, *Historia de la Mecánica*, que en su época de estudiante ejerció sobre él una honda influencia. No obstante, su opinión sobre Mach como filósofo es más bien negativa (Einstein 1992, p. 25):

La verdadera grandeza de Mach la veo yo en su incorruptible escepticismo e independencia; pero de joven también me impresionó mucho su postura epistemológica, que hoy me parece esencialmente insostenible. Pues Mach no colocó en su justa perspectiva la naturaleza esencialmente constructiva y especulativa de todo pensamiento y, en especial, del pensamiento científico.

Quizás por ello la influencia del positivismo de Mach en Einstein la interpreta Philip Frank (1949, p.176) meramente en el sentido de que para Einstein

La ‘verdad’ de los principios generales descansa en última instancia en un control a través del experimento físico directo y la observación física. Einstein no cree, al contrario de los contemporáneos de Mach, que los principios fundamentales pueden ser controlados directamente o con ayuda de una cadena corta de consecuencias. Entre tanto resultó claro que el camino entre los principios y la observación es largo y difícil.

Sin embargo Hans Reichenbach (1949, p. 189) sitúa a Einstein próximo a las tendencias del empirismo lógico

El físico que desea comprender el experimento de Michelson-Morley tiene que atenerse a una filosofía para la que el sentido de un enunciado pueda ser reducido a su verificabilidad. O sea, debe presuponer la teoría de la verificabilidad del conocimiento del significado,... Esta actitud positivista, o mejor dicho, empirista, determina la posición filosófica de Einstein.

Reichenbach se equivoca en su apreciación. Lo dicho no obsta para que aceptemos como posición filosófica característica de la filosofía de la ciencia de Einstein la segunda frase que incluimos en el lema de este trabajo, la cual podría ser plenamente suscrita por Karl Popper, simplemente interpretando en ella ‘comprobables’ como ‘testables’.

La influencia de Einstein sobre el Círculo de Viena no se puede considerar muy importante. Es cierto que en su documento programático, *La Concepción Científica del Mundo*, sus autores le mencionan, junto a

otros, entre los físicos leídos y discutidos en relación con los temas de fundamentos, metas y métodos de la ciencia empírica, pero prácticamente se limitan a aseverar<sup>3</sup> que

Las doctrinas del espacio absoluto y del tiempo absoluto han sido superadas por la teoría de la relatividad; espacio y tiempo ya no son contenedores absolutos, sino sólo dispositivos para la ordenación de los sucesos elementales.

Y no es menos cierto que en el libro seminal de Rudolf Carnap, *La Construcción Lógica del Mundo*, 1928, el nombre de Einstein brilla notoriamente por su ausencia. Por lo demás las referencias a Einstein en general entre los positivistas lógicos no dejan entrever que éste ejerciera una importante influencia sobre ellos. Como se puede comprobar en Ayer (1965), en cuya compilación de textos representativos de la filosofía neopositivista las referencias mínimamente serias a Einstein son escasísimas.

Mejor parado sale Einstein en el primer libro de Popper, escrito entre 1930 y 1933, y publicado por vez primera en 1979, *Los dos Problemas Fundamentales de la Epistemología*. En tres ocasiones, p. 10, p. 219 y pp. 427-428, Popper cita el texto siguiente de Einstein (1921): “En cuanto las proposiciones de las matemáticas se refieren a la realidad, no son seguras, y cuando son seguras no se refieren a la realidad”, que Popper parafraseará, de forma bien conocida como: “En cuanto las proposiciones de una ciencia se refieren a la realidad tienen que ser falsables, y si no son falsables, no se refieren a la realidad”. Y, aunque sin concretar el sentido de su cita Popper menciona, en p. 262, a la teoría especial de la relatividad como ejemplo de que “el desarrollo de las teorías físicas modernas muestra que las falsaciones de determinadas predicciones pueden destruir completos edificios teóricos.” Finalmente, también apoya su actitud antiinductivista en Einstein, quien reconoce en una conferencia de 1918, reimpresa en *Mein Weltbild* de 1934, que no hay ningún camino lógico que conduzca de las observaciones a los principios fundamentales de la teoría.

No obstante, como vamos a constatar inmediatamente, la influencia de Einstein en los intersticios de la filosofía popperiana de la ciencia parece mayor que lo que estas escasas referencias al físico dejan entrever. Que toda referencia a Popper en la edición de Arthur Schilpp sobre Einstein brille por su ausencia no puede extrañarnos. Esta obra es diez años anterior a la edición inglesa de Popper de su *Lógica de la Investigación Científica* que,

<sup>3</sup> Cfr. Carnap, Hahn y Neurath (1929), p. 23.

como es sabido, es de 1959. Así, en el artículo de Andrew Paul Ushenko (1949) la investigada influencia de Einstein se ejerce forzosamente sobre la filosofía prepopperiana de la ciencia, pero tampoco alcanza al Círculo de Viena.

#### El realismo científico

El realismo científico en el caso de Einstein toma la forma de un *realismo local* como posición filosófica opuesta a la interpretación típica de la mecánica cuántica. Para caracterizar su concepción *realista* de la ciencia básica basta citar a Einstein (1992, p.77), donde afirma que “La física es un esfuerzo por aprehender conceptualmente la realidad como algo que se considera independiente de ser percibido”.

Y en el primer párrafo de su famoso artículo “¿Puede ser considerada completa la descripción mecánico-cuántica de la realidad?”, Einstein, Podolsky y Rosen (1935), sostienen el punto de vista *realista* de que

Una consideración seria de la teoría física debe tomar en cuenta la distinción entre la realidad objetiva, que es independiente de toda teoría, y los conceptos físicos con que la teoría opera. Se entiende que estos conceptos corresponden a la realidad objetiva, y por medio de ellos nos imaginamos esta realidad.

Es ampliamente conocido que en su artículo mencionado de 1935 Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen argumentan en favor del carácter esencialmente *incompleto* de la descripción mecánico-cuántica de la realidad. Esta discusión ayuda a ilustrar el *realismo científico* de Einstein. En efecto, para EPR (1935, p.777), la condición de completud consiste en que “Todo elemento de la realidad física debe tener una contrapartida en la teoría física”.

Donde por *elemento de realidad física* EPR (*Ibíd.*) entienden: “Si, sin perturbar de ninguna forma un sistema, podemos predecir el valor de una magnitud física con certeza (e. d. con probabilidad 1), entonces existe un elemento de realidad física correspondiente a esta magnitud física”.

Andrew Whitaker (1966, p. 224) interpreta esta situación del modo siguiente:

En el caso de la teoría cuántica, todo realista clásico debe concluir inevitablemente que, en su estado presente, la teoría es incompleta. Ella no permite valores precisos para todos los observables -posición y momento, por ejemplo. El realista clásico cree que tales valores tienen que existir ‘en la realidad física’, pero como no tienen ‘contrapartida en la teoría’, de aquí se desprende la afirmación de incompletud.

Y el propio Whitaker (1966, p. 226), explica que, como por el postulado de *localidad* -supuesto de la teoría de la relatividad sobre la inexistencia de acciones *instantáneas* a distancia- las mediciones realizadas en la partícula 1 no pueden afectar a la partícula 2, entonces ésta debía poseer un valor preciso de su posición y momento *antes de* las mediciones llevadas a cabo en 1. O sea, “Ambos son pues, elementos de realidad física. Pero como la teoría cuántica no permite valores para ambos, tiene que ser *incompleta*”.

**El antiinductivismo. La vigencia del método hipotético-deductivo**

Para Einstein (1917, pp. 108-109, Apéndice 3),

Bajo una óptica epistemológica esquemática, el proceso de crecimiento de una ciencia experimental aparece como un continuo proceso de inducción. Las teorías emergen como resúmenes de una cantidad grande de experiencias individuales en leyes empíricas, a partir de las cuales se determinan por comparación las leyes generales. Desde este punto de vista, la evolución de la ciencia parece análoga a una obra de catalogación o a un producto de mera experiencia.

Esta concepción, sin embargo, no agota en modo alguno el verdadero proceso, pues pasa por alto el importante papel que desempeñan la intuición y el pensamiento deductivo en el desarrollo de la ciencia exacta. En efecto, tan pronto como una ciencia sobrepasa el estadio más primitivo, los progresos teóricos no nacen ya de una simple actividad ordenadora. El investigador, animado por los hechos experimentales, construye más bien un sistema conceptual que se apoya lógicamente en un número por lo general pequeño de supuestos básicos que se denominan axiomas. A un sistema conceptual semejante lo llamamos teoría.

Básicamente esta idea la reitera Einstein (1918, p. 201), para quien

La tarea fundamental del físico consiste en llegar hasta esas leyes elementales y universales que permiten construir el cosmos mediante pura deducción. No hay un camino lógico hacia esas leyes: solo la intuición, fundamentada en una comprensión de la experiencia, puede llevarnos a ellas.

Y también en Einstein (1934, 253) afirma que el gran objetivo de la ciencia

Consiste en abarcar por deducción lógica el mayor número posible de hechos empíricos a partir del menor número de hipótesis o axiomas (...) En su búsqueda de una teoría, el científico teórico se ve compelido a guiarse, en grado creciente, por consideraciones puramente matemáticas, formales, porque la experiencia física del experimentador no puede

conducirle hasta las más elevadas regiones de la abstracción. Los métodos predominantemente inductivos, apropiados para una etapa temprana de la ciencia, están dejando paso libre al tanteo deductivo. Una estructura teórica de este tipo necesita haber tenido una profunda elaboración antes de estar en condiciones de conducirnos a conclusiones que puedan ser comparadas con la experiencia. También en este caso el hecho observado es el árbitro supremo, aunque no podrá pronunciar sentencia hasta tanto no se haya construido un puente de intensa y sostenida actividad pensante para atravesar la amplia brecha que separa los axiomas de sus consecuencias verificables. El teórico habrá de emprender esta tarea hercúlea con la plena convicción de que sus esfuerzos solo pueden estar destinados a asestar un golpe de muerte a su propia teoría.

En Einstein (1936, p. 276) insiste en que

No existe un método inductivo que nos conduzca a los conceptos fundamentales de la física. La imposibilidad de comprender este hecho constituyó la base del error filosófico de muchos investigadores del siglo pasado (...) El pensamiento lógico es necesariamente deductivo; se basa en conceptos hipotéticos y en axiomas. ¿Cómo seleccionar éstos, con la esperanza de que se confirmen las consecuencias que de ellos se derivan?

Finalmente, en su *Autobiografía* (1992), Einstein afirma haber aprendido de la teoría de la gravitación que

Una colección de hechos empíricos, por muy abundante que sea, no puede conducir al establecimiento de ecuaciones tan complicadas. Una teoría puede contrastarse con la experiencia, pero no hay ningún camino de la experiencia a la construcción de una teoría.

**La noción de explicación teórica. Un adelanto del modelo de explicación de Popper-Hempel**

Respecto a la tarea del teórico, la búsqueda de explicaciones, se expresa Albert Einstein (1914, pp. 196-197. Las cursivas son mías) del modo siguiente:

El método del teórico significa partir de la base de postulados generales o 'principios' para deducir de ellos conclusiones. O sea que el trabajo se divide en dos partes. En primer lugar, ha de descubrir sus principios y después tendrá que extraer las conclusiones que se desprendan de ellos. Para esta segunda tarea, el físico ha recibido una excelente formación en la universidad. Por lo tanto, si el primer estudio de los problemas ya está resuelto para cierto campo o para cierto conjunto de fenómenos correlacionados, este científico puede estar seguro de su éxito, siempre

y cuando su inteligencia y su capacidad de trabajo sean adecuadas. La primera de estas tareas, es decir la de establecer los principios que deberán servir como punto de partida de sus deducciones, tiene una naturaleza muy especial. En este caso no existe un método que pueda aprenderse y aplicarse sistemáticamente para llegar al objetivo previsto<sup>4</sup>. El científico debe extraer esos principios con habilidad de la naturaleza, percibiendo a partir de amplios conjuntos de hechos empíricos, ciertos rasgos generales que le permitan una formulación precisa.

Una vez cumplida con éxito esa formulación, una deducción seguirá a otra deducción y así, a menudo, se revelarán relaciones imprevistas, que se extienden mucho más allá del ámbito de la realidad que brindaran los principios iniciales. *Pero en tanto no se descubran los principios que sirven de base para extraer deducciones, el hecho empírico individual no tiene valor para el teórico*, quien en rigor tampoco puede hacer nada con leyes generales aisladas descubiertas empíricamente. El físico teórico se hallará impotente frente a unos resultados inconexos, ofrecidos por la investigación empírica, hasta que no se le hayan revelado los principios que le servirán como base para el razonamiento deductivo.

Esta idea, *leyes aisladas que esperan a ser explicadas*, la expresa también Einstein en (1927, p. 227. Las cursivas son mías):

La finalidad de Newton estribaba en responder a esta pregunta: ¿Existe alguna regla simple por la que sea posible calcular por completo los movimientos de los cuerpos celestes en nuestro sistema planetario, si se conoce, en un determinado momento, su estado dinámico? *Newton solo tenía ante sí las leyes empíricas de Kepler sobre el movimiento planetario, deducidas de las observaciones de Tycho Brahe y esas leyes exigían explicación [...] Es bien cierto que estas leyes brindaron una respuesta completa a la pregunta de cómo se mueven los planetas en torno al Sol: la forma elíptica de la órbita, la igualdad de las áreas recorridas por los radios en tiempos iguales, la relación entre los semi-ejes mayores y los periodos de revolución. Pero estas normas no aportan una explicación causal. Son tres reglas lógicamente independientes que no revelan ninguna conexión interna entre sí.*

#### **El requisito metodológico de falsabilidad**

Einstein (1917, §14) concebía la falsabilidad como un requisito fundamental de científicidad. La teoría de la relatividad exige que las leyes generales de la Naturaleza sean invariantes en una transformación de Lorentz: “Si se encontrara una ley general de la Naturaleza que no cumpliera esa condición, quedaría refutado por lo menos uno de los dos

---

<sup>4</sup> En particular, no existe ningún método inductivo que pueda llevar a los conceptos y leyes fundamentales de la física. Esto es lo que sin lugar a dudas tiene *in mente* Einstein.

supuestos fundamentales de la teoría”.

Sobre la refutabilidad de la teoría de la relatividad afirma Einstein (1919, pág. 206):

El atractivo fundamental de la teoría radica en el hecho de que es completa desde un punto de vista lógico. Si una sola de las conclusiones que se extraigan de ella resulta ser errada, tendremos que abandonarla, pues modificarla sin destruir toda su estructura parece ser imposible.

Ejemplos concretos de la exigencia de falsabilidad por Einstein lo encontramos en casos numerosos. Así, Einstein (1917, p. 67. Las cursivas son mías), tras afirmar que los rayos de luz se curvan en el seno de campos gravitatorios, asevera:

Aun cuando una reflexión detenida demuestra que la curvatura que predice la teoría de la relatividad general para los rayos luminosos es ínfima en el caso de los campos gravitatorios que nos brinda la experiencia, tiene que ascender a 1,7 segundos de arco para rayos de luz que pasan por las inmediaciones del Sol. Este efecto debería traducirse en el hecho de que las estrellas fijas situadas en las cercanías del Sol, y que son observables durante eclipses solares totales, aparezcan alejadas de él en esa cantidad, comparado con la posición que ocupan para nosotros en el cielo cuando el Sol se halla en otro lugar de la bóveda celeste. *La comprobación de la verdad o falsedad de este resultado es una tarea de la máxima importancia, cuya solución es de esperar que nos la den muy pronto los astrónomos.*

Finalmente, tras considerar explicados por la teoría general de la relatividad tanto la curvatura de la luz en el campo gravitatorio del Sol como el avance considerado hasta entonces *anómalo* del perihelio del planeta Mercurio, fenómenos “frente a los cuales fracasa la Mecánica clásica”, Einstein (1917, p. 91) concluye:

Al margen de esto, sólo se ha podido extraer de la teoría otra consecuencia accesible a la contrastación experimental, y es un corrimiento espectral de la luz que nos envían las grandes estrellas respecto a la luz generada de manera equivalente (es decir, por la misma clase de moléculas) en la Tierra. No me cabe ninguna duda de que también esta consecuencia de la teoría hallará pronto confirmación<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Al respecto, puede consultarse Rivadulla (2003), Cap. V, Apéndice.

No le faltaba razón pues a Popper cuando afirmaba que Einstein está en la raíz de su propia defensa de la actitud crítica como norma en la metodología de la ciencia.

#### **La noción de reducción interteórica por paso al límite**

Que el sino más hermoso de una teoría física es el de señalar el camino para el establecimiento de otra teoría más amplia, en cuyo seno perviva como caso límite, es una de las ideas filosóficas más interesantes de Albert Einstein (1917, p.69). En particular, Einstein, *op. cit.*, p. 90, sostiene que la mecánica newtoniana constituye un caso límite de la teoría de la relatividad:

Si se particularizan las ecuaciones de la teoría general de la relatividad al caso de que los campos gravitatorios sean débiles y de que todas las masas se muevan respecto al sistema de coordenadas con velocidades pequeñas comparadas con la de la luz, entonces se obtiene la teoría de Newton como primera aproximación; así pues, esta teoría resulta aquí sin necesidad de sentar ninguna hipótesis especial, mientras que Newton tuvo que introducir como hipótesis la fuerza de atracción inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre los puntos materiales que interactúan.

Precisamente la existencia de casos límite en física es una constante en la teoría de la ciencia de Popper ya desde (1935, §79), con la consiguiente repercusión metodológica de que las teorías superadas conservan su capacidad de aplicación, como aproximaciones a las teorías nuevas, en dominios restringidos. Esta tesis, que Popper reitera a lo largo de su obra, es tan importante para él que le lleva a bordear el abandono de su realismo científico (Popper 1982, pp. 29-30. Las cursivas son mías):

Lo decisivo de la teoría de Newton, desde mi punto de vista, es haber mostrado que la teoría de Newton -que ha sido la teoría más exitosa jamás propuesta- *puede* ser sustituida por una teoría alternativa de mayor alcance, y que está relacionada con la de Newton de tal forma que todo éxito de la teoría newtoniana es también un éxito de esta teoría (...) Pues bien: *para mí esta situación lógica es más importante que la cuestión acerca de cuál de las dos teorías constituye de hecho la mejor aproximación a la verdad.*

Popper acepta pues que, para dar cuenta del desarrollo científico, hay algo aún más importante que la proximidad a la verdad de las teorías competidoras, a saber: la constatación de que una teoría constituye matemáticamente un caso límite de otra, con lo que la opción a favor de

esta otra es claramente racional. Ahora bien, la verdad deja entonces de jugar un papel preponderante en ciencia, pues para la relación matemática de derivabilidad entre teorías, la verdad es irrelevante.

#### **El uso de la predicción por Albert Einstein en la metodología de la física teórica**

Desde que la filosofía de la ciencia quedó instituida como una disciplina académica, la metodología científica ha venido siendo concebida, a grandes rasgos, como aquella parte de la materia que prácticamente venía a identificarse con la misma, con la particularidad de que lo único que no la concernía eran las cuestiones epistemológicas. Una de las cuestiones más importantes de la metodología de la ciencia era, y sigue siendo, el análisis de las relaciones teoría-experiencia. Este tipo de relación se entendía prácticamente de modo unidireccional, a saber: de la teoría hacia la experiencia, en el sentido de contrastación empírica de la teoría, lo que proporcionaba o bien la confirmación, que en el caso de los lógicos inductivos tomaba la forma de una evaluación probabilista de la teoría, o bien la mera corroboración o, en caso negativo, la refutación de la teoría, en el caso de los deductivistas popperianos. Esta misma dirección se mantenía también en las concepciones semánticas de las teorías, donde los modelos son modelos de teorías.

El caso es que tanto si la forma de razonamiento, usado en los casos de contrastación empírica, era una lógica de la implicación parcial (lógica inductiva) o una lógica deductiva *sensu stricto*, estaba asumido que el uso del razonamiento deductivo se agotaba en los procesos de contrastación empírica –tests deductivos de hipótesis–, o también en los procesos de explicaciones teóricas (Rivadulla 2004, capítulo II), además de, naturalmente, en las teorías axiomatizadas. Dicho brevemente, nadie imaginó que el razonamiento deductivo pudiera ser usado en poco más que el *contexto de justificación*.

La razón bien podría estar en que los procedimientos de descubrimiento científico, entre los que destacaba la inducción aristotélica entendida como una forma inferencial conservadora de la verdad y ampliadora del contenido, no producían resultados fiables: las conclusiones de toda inferencia o generalización inductiva pueden ser falsos. Es decir, la inducción no proporcionaba procedimientos fiables para la introducción de ideas nuevas en ciencia. El anatema lanzado por Popper contra toda forma de inferencia ampliadora, incluida la inducción probabilista, y su rechazo en metodología de la ciencia de los procedimientos de descubrimiento científico, debió contribuir de modo importante a que otras inferencias

ampliativas, como p. e. la abducción, fuese ampliamente ignorada hasta muy recientemente por los filósofos académicos de la ciencia. Además, otras formas de la creatividad científica, como p. e. la analogía o la chiripa (la serendipia) apenas fueron objeto de una curiosidad poco más que anecdótica. Pero sobre todo se pasó ampliamente por alto la capacidad del razonamiento deductivo para anticipar ideas nuevas en ciencia, por tanto su uso en el *contexto de descubrimiento*. A la implementación del razonamiento deductivo en el contexto de descubrimiento científico le doy el nombre de *preducción*.

Así, toda recuperación para la metodología de la ciencia del tema de (la lógica) del descubrimiento, que nunca debió de ser dejado de lado por los filósofos de la ciencia, quienes debieron continuar la tradición al respecto de los filósofos del siglo XIX, debe concluir en un renovado interés por la *inducción*, por la *abducción*, a las que habría que añadir la *preducción* (Rivadulla 2008).

Al filósofo de la ciencia le incumbe a veces una tarea puramente empírica: la describir cómo procede la ciencia real. Es bien conocida la entronización por Newton de la *inducción* como inferencia para la postulación de leyes de la física. Es también incuestionable que las ciencias observacionales de la Naturaleza se sirven de la *abducción* como inferencia para la propuesta de hipótesis acerca de los datos empíricos disponibles. Y es un hecho que la física teórica se sirve de la *preducción*, aunque desde luego no sólo de ella, como forma inferencial para la anticipación de hipótesis fácticas, modelos teóricos y leyes.

Precisamente Einstein es uno de los físicos que se puede poner como ejemplo por su utilización de la *preducción* para la introducción de hipótesis en física. De hecho él ofrece una de las muestras más sencillas, pero a la vez de las más fértiles, de *preducción* en la historia de la física contemporánea. Combinando dos resultados distintos de teorías diferentes:  $E = cp$ , de la teoría especial de la relatividad, que da la energía de una partícula sin masa, y  $E = h\nu$ , de la física cuántica de Planck, que la da energía de un fotón, concluye deductivamente, i. e. *productivamente*, las fórmulas  $p = h/\lambda$  y  $\lambda = h/p$  que ponen de manifiesto la naturaleza dual, corpuscular y ondulatoria, de la radiación.

Éste es un ejemplo paradigmático de *preducción* pues indica el camino de cómo muchas ideas nuevas se pueden anticipar en ciencia *more deductivo*. ¿Por qué entonces introducir un término nuevo, *preducción*, para referirnos a una forma de *inferencia anticipativa*, cuando en lo que esta forma de razonamiento consiste es en una implementación del método hipotético-

deductivo? La razón es análoga a la de por qué introducir un término nuevo, *abducción*, cuando ya había uno, *inducción*, que representaba el paradigma de *inferencia ampliativa*. Se trata de una cuestión de énfasis: Así como la *abducción* es concebida por Charles Peirce como forma por medio de la cual se introducen nuevas ideas en ciencia, la especificidad de la *preducción* reside en que consiste en un uso o aplicación o implementación del razonamiento deductivo en el contexto de descubrimiento científico. Un uso en el que los filósofos de la ciencia hasta ahora no han caído en cuenta.

Einstein no es no obstante el primer físico que se sirve de la *preducción*. Planck, por ejemplo, ya lo había hecho antes (Rivadulla 2008 § 6.1) para la deducción de su *ley de radiación del cuerpo negro*, y, en general es una práctica corriente de la física teórica en cualquiera de sus especialidades.

### CONCLUSIONES

Pocos físicos teóricos de la talla de Albert Einstein han estado tan próximos, como él, al quehacer y desarrollo de la filosofía de la ciencia. Pocos como él merecieron ser reconocidos como filósofo-científico. Dejó su huella en epistemología, por su defensa de una concepción realista de la ciencia. Y en metodología, por su insistencia en el carácter deductivo de la física teórica. Su señalamiento de la existencia de casos límite, con tan importantes repercusiones para la racionalidad del desarrollo científico en física, que pone en serios apuros tesis posteriores como la de inconmensurabilidad. Su insistencia en la falsabilidad como criterio de demarcación científico, tan calurosamente acogida por Popper, y en general por la práctica científica. Su defensa de un concepto de explicación teórica en física, que adelanta el modelo nomológico deductivo de Popper-Hempel. Y finalmente su aplicación espontánea de la *preducción* para la anticipación de ideas nuevas en ciencia, le hacen merecedor de ser considerado entre los mejores filósofos de la ciencia del siglo pasado, muchas de cuyas huellas aún quedan por explorar.

### BIBLIOGRAFÍA

- Ayer, A. J. (1965): *El Positivismo Lógico*, Fondo de Cultura Económica, México-Buenos Aires  
 Carnap, R., H. Hahn und O. Neurath (1929), *Wissenschaftliche Weltauffassung – Der Wiener Kreis*.  
 Reimpreso en H. Schleichert (ed.), *Logischer Empirismus – der Wiener Kreis*, Wilhelm Fink

- Verlag, München 1975. Traducción española de Pablo Lorenzano en *Redes. Revista de estudios sociales de la ciencia*, Vol. 9, nº 18, 2002, 105-149.
- Einstein, A. (1914): "Principios de física teórica", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, Bon Ton, Barcelona, 2000.
- \_\_\_\_\_ (1917): *Über die spezielle und allgemeine Relativitätstheorie*, Vieweg, Braunschweig. Versión española, *Sobre la teoría de la relatividad especial y general*, Alianza Editorial, Madrid 1994.
- \_\_\_\_\_ (1918): "Principios de investigación", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, Bon Ton, Barcelona 2000.
- \_\_\_\_\_ (1919): "Qué es la teoría de la relatividad?", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, 2000.
- \_\_\_\_\_ (1921): "Geometría y experiencia", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, 2000.
- \_\_\_\_\_ (1927): "La mecánica de Newton y su influencia en el desarrollo de la física teórica", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, 2000.
- \_\_\_\_\_ (1934): "El problema del espacio, el éter y el campo, en la física", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, 2000.
- \_\_\_\_\_ (1936): "Física y realidad", en A. Einstein, *Mis ideas y opiniones*, 2000.
- \_\_\_\_\_ (1949): "Observaciones sobre los trabajos reunidos en este volumen", en A. Schilpp (1949).
- \_\_\_\_\_ (1992): *Notas Autobiográficas*, Alianza Editorial, Madrid.
- \_\_\_\_\_ (2005): *Obra esencial*. Edición a cargo de José Manuel Sánchez Ron. Editorial Crítica, Barcelona
- Einstein, A.; Podolsky, B.; y Rosen, N. (1935): "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", *Physical Review*, vol. 47, May 1935, 777-780. Versión española en Einstein (2005)
- Frank, P. (1949): "Einstein, Mach und der logische Positivismus", en A. Schilpp (1949).
- Popper, K. (1979): *Die beiden Grundprobleme der Erkenntnistheorie*. J. C. B. Mohr, Tübingen 1979. Edited by Troels Eggers Hansen on the basis of manuscripts from the years 1930-1933. Versión española, *Los dos problemas fundamentales de la epistemología*, Ed. Tecnos, Madrid.
- Popper, K. R. (1982): "On a realistic and commonsense interpretation of Quantum theory", en K. R. Popper, *Quantum Theory and the Schism in Physics*, Hutchinson, London.
- Reichenbach, H. (1949): "Die philosophische Bedeutung der Relativitätstheorie", en A. Schilpp (1949)
- Rivadulla, A. (2003): *Revoluciones en Física*, Editorial Trotta, Madrid.
- \_\_\_\_\_ (2004): *Éxito, Razón y Cambio en Física*, Editorial Trotta, Madrid.
- \_\_\_\_\_ (2008): "Discovery Practices in Natural Sciences: From Analogy to Preduction", *Revista de Filosofía* Vol. 33 Núm 1: 117-137.
- Schilpp, A. (ed.) (1949): *Albert Einstein als Philosoph und Naturforscher*, W. Kohlhammer Verlag, Stuttgart.
- Stachel, J. (ed.) (2001): *Einstein 1905: un año milagroso*, Ed. Crítica, Drakontos Clásicos, Barcelona.

Ushenko, A. P. (1949): "Einsteins Einfluss auf die heutige Philosophie", en A. Schilpp (1949).

Whitaker, A. (1966): *Einstein, Bohr and the Quantum Dilemma*, Cambridge Univ. Pr, Cambridge.