

MACH EN EINSTEIN

UN CASO PARADIGMÁTICO DE OPORTUNISMO EPISTEMOLÓGICO

Ricardo J. Gómez

Resumen

Nuestro principal objetivo es discutir la influencia de Mach en la obra de Einstein enfatizando los aspectos en que se acercó y aquellos en que se alejó de Mach. Las conclusiones a obtener pondrán de manifiesto la relevancia de la autocalificación de Einstein como “oportunista metodológico” pues parte importante de tal oportunismo es la mayor o menor presencia de Mach en su obra según el momento y el contexto científico de su producción.

Abstract

Our main goal is to discuss Mach's influence upon Einstein. Accordingly, we will emphasize those Einstein's theses/views in which he came close and those in which he departed from Mach. We will conclude that Einstein's self-labeling as an “epistemological opportunist” is obviously justified in part by his changes about his agreements or disagreements with Mach depending upon the scientific context in which those changes took place.

Es un lugar común afirmar la influencia de Mach en la obra científica y epistemológica de Einstein. Se dice usualmente que Mach influyó enormemente en la postura epistemológico-metodológica y en el enfoque de Einstein en su teoría especial de la relatividad. Y se agrega que Einstein se alejó posteriormente de Mach, hasta separarse completamente de sus tesis epistemológicas.

Nuestro principal objetivo es, por una parte, matizar el alcance de tal influencia en distintos momentos de la producción intelectual de Einstein, así como enfatizar no sólo los aspectos machianos en dicha producción sino también aquellas cuestiones, enfoques y tesis en donde se alejó de tal influencia. De ahí que sistematizaremos nuestra presentación distinguiendo distintos momentos-épocas de la presencia de Mach en Einstein. Ello nos permitirá arribar a una serie de conclusiones epistemológico-historiográficas que pondrán de manifiesto la relevancia de la auto-calificación de Einstein como oportunista epistemológico, pues parte de tal oportunismo es la mayor o menor presencia de Mach en su obra según el momento y contexto científico de su producción.

I. La filosofía de las ciencias de Ernst Mach

Por supuesto, es imprescindible como marco de referencia sintetizar aquellas tesis centrales de la postura de Mach sobre las ciencias en general y sobre la física, en particular, que aparecerán en la concepción de Einstein al respecto, especialmente en sus principales trabajos científicos.

Dichas tesis relevantes de Mach en algún momento presentes o rechazadas por Einstein son:

- Toda ciencia se ocupa de la dependencia entre los fenómenos.
- La física es experiencia organizada en un orden económico.

(A) Conceptos y objetos

-Cada objeto es un complejo de elementos o simples sensibles; los cuerpos no son nada más que complejos de colores, etc. Más precisamente: "la ontología de Mach de los llamados *elementos* que son las partes simples componentes de las sensaciones".¹

-La idea de cosa en sí es metafísica (falsa creencia de que cuando se eliminan todas las partes de un complejo aún queda algo).

-Los conceptos son símbolos económicos para organizar la experiencia; ellos permiten extender nuestra experiencia; son conformados a través de los siglos, por lo que su contenido no puede ser captado por una idea momentánea.

-El principal valor de los conceptos científicos es permitirnos simbolizar en el pensamiento vastas áreas factuales dejando de lado los rasgos que son irrelevantes a nuestros propósitos.

-El pensamiento no se ocupa de las cosas tal cual son sino de nuestros conceptos acerca de ellas.

¹ E. Zahar (1989, 128). Zahar sostiene que se ha exagerado la influencia de Mach en la teoría de la relatividad de Einstein, llegando al extremo de sostener, cosa con la que estamos en desacuerdo, que tal influencia es insignificante, agregando, también erróneamente, que desde el principio Einstein fue un "realista al viejo estilo".

(B) Leyes científicas

-Cada fórmula y ley física no es más que un resumen aditivo de hechos individuales, y las adoptamos en cuanto su uso es conveniente, esto es, en tanto dicho uso es económico (no hay hecho que corresponda como su correlato a fórmulas o leyes).

-El conocimiento se extiende por similitudes y analogías, para lo cual se proponen hipótesis que son siempre provisionales que pueden cambiarse de modo que desaparezcan los elementos no esenciales; cuando quedan sólo los elementos esenciales, se ha alcanzado una ley.

-Las leyes son descripciones concisas y abreviadas de los hechos.

-El objetivo de la ciencia es el descubrimiento-formulación de dichas leyes.

-Conceptos, leyes y principios físicos son convencionales. Pero están enraizados en la historia de cómo los humanos organizan los fenómenos. Por lo tanto, siempre hay que rastrearlos históricamente.

(C) La física

-La física no es autosuficiente porque en todo momento necesita ser complementada con el estudio de su propia historia y mediante consideraciones psicológicas y fisiológicas. Siempre enfrentamos la totalidad de los elementos, por lo que sólo si tomamos en cuenta sus interrelaciones y dejamos de lado nuestro propio cuerpo, nos transformamos en físicos. La física es un modo peculiar de referirnos al complejo de elementos.

-El punto de vista mecánico (que incluye al atomismo) no desempeña el mismo papel que el principio de conservación de la energía como instrumento de investigación, porque tal perspectiva mecanicista nos inclina a creer que la naturaleza es unidimensional. Los científicos se resisten a abandonar el mecanicismo debido a su poder predictivo, aunque no es una perspectiva necesaria ni más inteligible que otras (por ejemplo, la de Maxwell).

-La historicidad de la física se revela a través del carácter histórico de sus problemas, los cuales deben ser comprendidos mediante el estudio de su historia.

-Los problemas se resuelven usando principios que perduran a través del tiempo histórico, aunque adopten distintas facetas a través del tiempo. Los

principios conforman así la base de la continuidad de la física, con desarrollo continuo, cambiante e incompleto.

-Hay una única e importante presuposición subyacente a la investigación física: existe una dependencia funcional entre los fenómenos: "El objetivo de la investigación es establecer el modo de conexión de los elementos...que están interconectados en relaciones de variable, evanescencia y permanencia".²

-No hay sensaciones a las cuales les corresponda una cosa exterior diferente. Estos elementos están "fuera" o "dentro" de acuerdo a la ley en la cual, en un determinado momento, son visualizados.

-Las leyes de la física son leyes de dependencia funcional, por lo que causa y efecto devienen superfluos.

(D) Conocimiento y adaptación

-El conocimiento es la principal herramienta de adaptación. Esto es así tanto para el conocimiento vulgar como para el científico (entre los cuales hay continuidad). Ambos tienen como objetivo común facilitar nuestra adaptación a los hechos y a otros pensamientos, lo que requiere clarificación de pensamientos, eliminación de contradicciones, para lo cual es vital la sistematicidad deductiva, etc.

-En tanto colaboran para la adaptación, el conocimiento vulgar y el científico están gobernados por la máxima suprema de los procesos adaptativos: el esfuerzo por la realización de lo económico. La mente humana tiene que proceder económicamente porque no puede conocer el mundo exhaustivamente.

-Tanto la fortaleza como la debilidad de la ciencia radican justamente en tal carácter económico ineludible.

-La distancia entre pensamientos y hechos puede ser reducida continuamente.

Estas tesis definitorias de la postura epistemológica de Mach muestran claramente la dificultad para caracterizar la misma de acuerdo a las dicotomías tradicionales como realismo versus instrumentalismo.

Creemos que Mach no es ni realista metafísico, ni instrumentalista.

Según Mach, nuestro conocimiento intenta referirse a lo real, reducido en su postura a los elementos y sus interrelaciones. Además, Mach jamás negó el

² E. Mach (1897, 14).

carácter explicativo de la ciencia. La diferencia con otros autores radicaba en la respuesta a la pregunta "¿qué entendemos por real"? Para Mach, la experiencia es la única categoría ontológicamente significativa (no-realismo metafísico).

Además, mucho de lo que dice Mach suena como no instrumentalista: la ciencia expresa conexiones y "cuando estas conexiones están expresadas en conceptos las llamamos leyes".³ Es decir que tales leyes tienen *status* cognitivo; son verdaderas en el sentido de referir a conexiones existentes. Pero, ello no basta para poder hablar de postura realista, porque, por ejemplo, a pesar de referir a conexiones entre elementos, no expresan relaciones causales debido al rechazo de Mach del concepto de causa al que considera como metafísico.

Es aún más importante, en contra de cualquier versión de realismo científico, que Mach no acepta la postulación de ningún orbe extra-fenoménico en su lenguaje, de orden alguno más allá de los elementos.

Por último, creemos adecuado distinguir cuatro etapas, al menos, en las variaciones de presencia de Mach en Einstein (o acerca de cuánto de Mach había en Einstein y cuánto no): (1) La versión más machiana en la Teoría Especial de la Relatividad, (2) en la correspondencia Einstein-Mach (1909-1913), (3) en la Teoría General de la Relatividad y en las respuestas de Einstein, *circa* 1921-22, al distanciamiento de Mach respecto de su temprana aceptación de la Teoría de la Relatividad, y (4) la postura de Einstein acerca de Mach y de su influencia en su obra, cuando Einstein endurece su actitud antipositivista durante y luego de su intercambio con Bohr y Heisenberg en donde rechazó explícita e implícitamente a la mayoría de las tesis machianas, incluso aquellas que había aceptado en un principio.

II. Mach en la Teoría Especial de la Relatividad

Einstein afirmó que previamente a escribir su trabajo sobre relatividad especial, había estudiado a Kirchhoff, Helmholtz, Hertz, Boltzmann, Poincaré, Lorentz, y Mach.⁴

³ E. Mach (1895, 191).

⁴ Hay al menos tres actitudes básicas acerca de la influencia de Mach en la Teoría de la Relatividad. Para algunos, como K. Schaffner (1974), dicha influencia es enorme; para otros, como E. Zahar (1989), la misma es

En su Autobiografía, Einstein señala enfáticamente que *La Ciencia de la Mecánica* (Mach) "lo había despertado de su fe dogmática" en la "mecánica como la base última de todo pensamiento físico" y agrega que "este libro ejerció una profunda influencia sobre mí mientras era estudiante... [especialmente] la posición epistemológica de Mach me influyó enormemente". En verdad, Einstein había leído ávidamente a Mach en sus años de estudiante. Así, por ejemplo, Einstein reconoce que en 1897 o 1898 su ex-estudiante y colega en la Oficina de patentes de Berna cuando escribió su trabajo sobre relatividad especial, Michele Besso, lo había incitado a que leyera a Mach. Mach, según Einstein, no sólo lo influyó por su filosofía sino también por su crítica a los fundamentos de la física. Einstein aceptó la crítica devastadora de Mach a la noción de espacio absoluto que, según Mach, era "una monstruosidad conceptual" por ser una cosa puramente de pensamiento que no puede ser señalada en la experiencia. Desde esa crítica en *La ciencia de la mecánica*, el programa de Mach fue eliminar todas las ideas metafísicas de la ciencia; de ahí que en el Prefacio del libro afirme que la intención del mismo es anti-metafísica.

La influencia de Mach en los físicos a fines del siglo XIX era notable. Para ellos, las teorías más sofisticadas debían tratar sólo de las relaciones entre cantidades observables de modo económico, en vez de explicar los fenómenos en términos de entidades inobservables. En la terminología de la época ello significaba que las teorías debían adoptar una perspectiva fenomenológica. Es de destacar que muchos años más tarde, al reflexionar sobre los tipos de teorías en el desarrollo de la física, Einstein distingue entre teorías fenomenológicas (o de principios) y constructivas, y reconoce que la teoría de la relatividad especial era una teoría fenomenológica en el sentido machiano.⁵

escasa e irrelevante, mientras que otros, como G. Holton (1973) evalúan más equilibradamente los elementos machianos y no machianos presentes en ambas versiones de la teoría de la relatividad. Nuestra interpretación es más cercana a la de Holton, pero enfatizando con más detalle la presencia de distintos momentos cruciales de cambio acerca de la postura de Einstein sobre la influencia de Mach y remarcando más detalladamente los elementos machianos y no machianos en cada etapa.

⁵ Einstein sostenía en ese entonces, cuando polemizaba sobre mecánica cuántica, que la historia de la física avanza a través de teorías constructivas, las que requieren explicaciones de los fenómenos desde niveles ontológicos no-fenómicos, exigiendo ello para una aceptable mecánica cuántica. Esto pone de relieve algo obvio: en esa época Einstein había abandonado ya gran parte del núcleo epistemológico de la obra de Mach que había sido crucial al principio de su producción intelectual.

Hubo otras influencias en Einstein conducentes a su primer trabajo sobre relatividad: Maxwell, Poincaré, Lorentz y, especialmente, su maestro August Foppl, quien se consideraba fiel a la posición de Kirchhoff, Hertz y Mach. No extraña pues que Foppl fuera profundamente antimetafísico y que sostuviera que había que revisar las nociones recibidas. Como consecuencia, él consideraba la necesidad de rechazar la noción de espacio vacío por no estar sujeta a experiencia posible alguna, aunque no estaba dispuesto a abandonar las nociones de éter y movimiento absoluto. Einstein estudió a Helmholtz, Kirchhoff, Boltzmann y Hertz a través de Foppl.

Adentrándonos ahora en el trabajo mismo sobre Relatividad Especial de 1905, la influencia de Mach está presente desde los primeros párrafos. Así, Einstein, luego de referirse a la asimetría entre las ecuaciones cuando el conductor o el magneto están en movimiento, ejemplo que toma de su maestro Foppl termina dicha sección introductoria desechando las nociones de movimiento absoluto y éter, ambas explícitamente rechazadas por Mach.

Además, si nos preguntásemos por el enfoque metodológico del trabajo, la respuesta adecuada es la de L. Infeld, quien contestó que el trabajo de 1905 sobre relatividad es básicamente de análisis crítico de conceptos, algo básico e imprescindible en el enfoque epistemológico de Mach. Si nos preguntásemos, además, por el tema-contribución central del trabajo, la respuesta sería que es una indagación acerca de cómo lograr un nuevo punto de vista en nuestras concepciones de espacio y tiempo, algo imprescindible luego de la crítica de Mach a la noción de espacio absoluto.

Si, más centralmente, nos preguntásemos por el uso explícito de ideas machianas, responderíamos que ciertas nociones centrales con consecuencias de renovación radical como la de "simultaneidad de eventos", siguen las pautas machianas de análisis de conceptos. Así Ph. Frank ha señalado que "la definición de simultaneidad en la teoría especial de la relatividad está basada en el requisito machiano de que cada enunciado en física tiene que establecer relaciones entre cantidades observables...No cabe duda de que el requisito de Mach...era de gran valor heurístico para Einstein".⁶

⁶ Ph. Frank (1988, 272-3).

La descripción de eventos simultáneos es crucial para introducir nociones imprescindibles. Así, Einstein propone que "el tiempo de un evento es aquél que es dado simultáneamente con el evento por un reloj estacionario ubicado en el lugar del evento".⁷ Análogamente, para el lugar de un evento o coordenada espacial. Ambas nociones, al estilo machiano, son significativas sólo si son parte de nuestra experiencia sensorial cuando están sujetas a medición (por ejemplo, para el caso de 'lugar' por barras de medición presentes en la ocasión al mismo tiempo).

Mach reconoció incluso hasta 1910 que estaba totalmente de acuerdo con la Teoría Especial de la Relatividad y, particularmente con su base filosófica. En 1911 Mach firmó un Manifiesto llamando a la creación de una sociedad de filosofía positivista. Entre los firmantes, además de Mach, estaban Hilbert, Klein, Freud y Einstein. Esto enfatiza que Einstein abandonó muy gradualmente su punto de vista con fuertes tintes machianos, de 1905.

Sin embargo, ya en 1905 hay anticipaciones no-machianas. Por ejemplo, Einstein se distancia de Mach en el concepto de ley. Las leyes de la física parecen constituir la estructura que gobierna el modo en que se organizan los eventos. Además, ya en el segundo párrafo del trabajo de relatividad especial hay postuladas dos hipótesis (constancia de la velocidad de la luz e invariancia de las leyes de la física), que no podían ni podrían estar confirmadas empíricamente de modo directo. Ello es consistente con el reconocimiento de Einstein de que "poco después de 1900 ... se dio cuenta de la imposibilidad de descubrir las leyes verdaderas por medio de esfuerzos constructivos basados en los hechos conocidos."⁸

Un aspecto importante del distanciamiento entre Einstein y Mach lo constituye el desarrollo de la Teoría Especial de la Relatividad en la forma de una geometría tetradimensional (Minkowski, 1907). Mach no estaba en desacuerdo pero no consideraba esenciales para la física los espacios de distintas dimensiones. Muy especialmente, disentía con hacer del mundo tetradimensional de la física el mundo *in toto*, es decir, hacer del mundo de los hechos físicos la totalidad del mundo, porque la biología, según Mach, pertenece esencialmente a la totalidad del mundo.

La razón principal para que Mach no simpatizara con la versión de Minkowski era que considerar al espacio y tiempo como esencialmente unidos involucra el

⁷ A. Einstein, trabajo original de relatividad especial, p. 894.

⁸ A. Einstein, "Autobiographical Notes" en (1988, 3-94), *op. cit.*, p. 53.

abandono del espacio experiencial y del tiempo experiencial. Esto, a su vez, ataca las raíces de una física de las sensaciones-elementos.

Es más: Minkowski sostiene que espacio y tiempo, en tanto separados se desvanecen en sombras, y lo que realmente subsiste es sólo un mundo en sí con elementos definidos matemáticamente con componentes imaginarias. Ello hace que nada quede del mundo de Mach compuesto por elementos-sensaciones, cuyas verdades elementales se dan en el plano de la experiencia directa, en el espacio y el tiempo ordinarios. Y se pasaba a un modelo del mundo formalista, matematizado en una unión espacio-tiempo no accesible directamente en las sensaciones.

Todo esto separó a Mach y Einstein antes de que ellos mismos se percataran de ello.

III. La correspondencia Einstein-Mach (1908-1913)

En verdad, la mayoría son cartas de Einstein a Mach.

Mach, en 1909, en el Prefacio a la segunda edición de *Conservación de la Energía* afirmaba: "Yo suscribo el principio de relatividad, que es firmemente aceptado en mi Mecánica y en mi Teoría del Calor".

Es sabido que Einstein simpatizaba desde el principio con el realismo de Planck. Su primera carta a Mach reconociendo su influencia en la teoría de la relatividad implicaba un momentáneo alejamiento de Planck (a quien iba a retornar epistemológicamente luego de 1921).

La respuesta de Mach a esta primera carta de Einstein se perdió, pero Einstein reconocía que era una carta amigable de aprobación.

En su segunda carta a Mach, Einstein muestra que ya estaba trabajando en relatividad general y enfatiza que Planck, por ese entonces involucrado en una fuerte polémica con Mach, parece no sólo no comprender a Mach, sino que también rechaza sus propuestas sobre relatividad general.

En la última carta (25 de junio de 1913), Einstein le informa a Mach que le había enviado ya su última publicación sobre relatividad y gravitación, y le enfatiza lo que para él era, en ese momento, una coincidencia con Mach: "la inercia tiene su origen en una suerte de interacción mutua entre los cuerpos, totalmente en el sentido de la crítica de Mach al experimento de Newton (*bucket*)".

Sin embargo, y más allá de tal sutilísima afirmación, Einstein comenzaba a ser más y más consciente de que la relatividad general requería epistemológicamente alejarse del fenomenalismo-sensacionista de Mach. Mach, a su vez, en 1913, había expresado ya públicamente su rechazo a la teoría de la relatividad.

A partir de entonces, Mach estará cada vez menos en Einstein.

IV. Mach en la Teoría General de la Relatividad

El requisito machiano de que todo enunciado físico debe establecer relaciones entre cantidades observables aparece cuando Einstein comienza su teoría de la gravedad preguntando cuáles son las condiciones responsables del achatamiento de una esfera líquida en rotación. Mach había sostenido que la causa del achatamiento no estaba en la rotación de la esfera en el espacio vacío, sino en la rotación con respecto a algo material y, por lo tanto, respecto de cuerpos observables.

Pero las coincidencias con Mach no van más allá de ello. Einstein se percató, al desarrollar su teoría de la relatividad general, de que debía alejarse del requisito de que cada enunciado de la física debía ser directamente traducible a relaciones entre cantidades observables. En verdad, en la teoría general de la relatividad los enunciados generales de la física son relaciones entre símbolos (coordenadas generales, potenciales gravitacionales), de los que se pueden obtener conclusiones traducibles a enunciados sobre cantidades observables.

Por lo tanto, es ahora más obvio que nunca para Einstein que las leyes fundamentales de la física no pueden ni deben ser formuladas de modo de contener sólo conceptos que pudieran ser definidos por observación directa.

Además, la lectura del trabajo de 1915 sobre relatividad general muestra, cosa que Einstein después reconoció explícitamente en diversas oportunidades, que él exigía dos criterios básicos: consistencia lógica y simplicidad, por una parte, y acuerdo con los hechos observados, por la otra; es decir, un criterio lógico y uno empírico, lo que hacía totalmente irrelevante la cuestión acerca de por medio de qué conceptos o símbolos se formularan los principios.

En el trabajo sobre relatividad general, como él mismo lo reconoce en 1918, Einstein difiere de Mach acerca de la noción de 'hecho'. La velocidad de la luz, la primera ley de Newton, la validez de las ecuaciones de Maxwell, la equivalencia entre masa inercial y masa gravitatoria, son mencionadas como hechos.⁹ Los hechos no son, pues, meros complejos de sensaciones.

Pero, hasta la muerte de Mach (1916) e incluso hasta 1921, Einstein declaraba ser discípulo de Mach. Más adelante, al recordar esta época cercana a la publicación del trabajo de relatividad general, no se consideraba de la misma manera. Por el contrario, afirmaba cuánto se había separado de Mach al escribir dicho trabajo.

Mach, a su vez, ya en 1913 en el Prefacio de sus *Principios de Óptica Física*, afirmaba que se veía obligado "a cancelar su aprobación de la Teoría de la Relatividad" a la que consideraba "más y más dogmática".

El alejamiento explícito y definitivo, por parte de Einstein, se produce en la conferencia del 6 de abril de 1922, en donde calificó a Mach como "un filósofo deplorable", agregando que "el sistema de Mach estudia las relaciones existentes entre los datos de la experiencia; para Mach la ciencia es la totalidad de dichas relaciones. Tal punto de vista está equivocado y, de hecho, lo que Mach ha logrado es hacer un catálogo, pero no un sistema".¹⁰

Desde entonces, Einstein no perdió oportunidad de enfatizar la enorme distancia filosófica que lo separaba de Mach. Por ejemplo, el 24 de enero de 1938 le escribe a Cornelius Lanczos: "Viniendo del empirismo crítico del tipo de Mach, fui transformado por el problema de la gravitación en un creyente racionalista, o sea en uno que busca la fuente confiable de la verdad en la simplicidad matemática ... lo verdadero físicamente es lógicamente simple, o sea, tiene unidad en su fundamento". Tal racionalismo es inconsistente con las tesis filosóficas de Mach del comienzo (involucran, en términos de Mach, presupuestos metafísicos). Consistente con ello, Einstein vuelve a acercarse a Planck, de quien aceptaba sus dos tesis antipositivistas: (1) Hay un mundo real exterior que existe independientemente de nuestro modo de conocerlo, y (2) tal mundo real no es directamente cognoscible.

⁹ Véase, por ejemplo, la carta a Michele Besso del 28 de agosto de 1918.

¹⁰ A. Einstein., *Nature*, 112, 2807 (1923): 253. Tal catálogo de meros datos de la experiencia era, según Einstein, lo opuesto a lo que él entendía por una teoría realista.

Tales afirmaciones, si bien alejan definitivamente a Einstein de Mach, no lo hacen clara y coherentemente un realista científico.¹¹

En 1948, Einstein fue mucho más detallado acerca de sus divergencias con Mach: "Su debilidad radica en que creía que la ciencia radica en la mera ordenación del material empírico; esto es, él no reconocía el elemento libremente construido en la forma de conceptos. Creía, en cierto modo, que las teorías surgen mediante descubrimientos y no mediante invenciones. Llegó incluso a considerar a las sensaciones como los ladrillos básicos del mundo real, mediante lo cual él creía poder superar la diferencia entre psicología y física. Si hubiera llevado esto hasta sus últimas consecuencias, él tendría que haber rechazado no sólo el atomismo sino también la idea de una realidad física."¹²

En esta notable cita están rechazadas ahora más clara y enfáticamente todas las tesis machianas citadas al comienzo del presente trabajo. Por si ello fuera poco, Einstein agrega en la misma carta que no le resulta claro cómo las ideas de Mach pudieron haber influenciado su propio trabajo, contra su repetido reconocimiento de la gran influencia de Mach.

V. ¿Mach en Einstein luego de 1927?

Si tuviéramos que proponer una de las fechas-bisagras del distanciamiento final de Einstein respecto de Mach enfatizaríamos la de 1927.

Este último es el año en que Heisenberg presenta su principio de indeterminación al que Einstein siempre objetó epistemológicamente porque significaba, según él, una ruptura inaceptable con ideales de la física: la objetividad, por ingerencia de la interacción objeto-aparato de medición en la caracterización del objeto estudiado, la imposibilidad de representar en física a las cosas tal cual son, lo que obliga a concebir el conocimiento de la física como conocimiento de meros fenómenos, y la necesidad de limitar al macro-mundo la validez del principio de causalidad. Es decir que Einstein se oponía, por añadidura, a la presencia de ingredientes machianos en la interpretación que él criticaba de la mecánica cuántica, luego llamada interpretación de Copenhague. La consistente, creciente, y

¹¹ Véase, por ejemplo, A. Fine (1986, 86-111).

¹² Carta a Michele Besso (1948).

nunca abandonada postura crítica de Einstein respecto de dicha interpretación de la mecánica cuántica involucraba un creciente, consistente y nunca abandonado alejamiento de Einstein respecto de Mach, tal como lo certifican sus afirmaciones de 1938 y 1948 citadas en el acápite anterior.

Otro de los pilares de dicha interpretación que Heisenberg, aunque con diferencias, compartía con Bohr, Born, Pauli y Rosenfeld, es la tesis de complementariedad de Bohr. Bohr usó la expresión "complementariedad" aplicándola a descripciones, mediciones, fenómenos, etc. La necesidad de hablar de descripciones complementarias se debe a la presencia ineludible de h o cuanto de acción a nivel atómico y subatómico, que encuentra su expresión en el formalismo de la mecánica cuántica en las relaciones de indeterminación de Heisenberg.

Decir que D1 y D2 son complementarias es afirmar que cada una de ellas es incompleta e incompletable, aunque, en conjunto, sean exhaustivas. O sea, D1 y D2 agotan todo conocimiento expresable representativamente y sin ambigüedad acerca de, por ejemplo, la posición (D1) de una partícula y el momento (D2) de la misma "que no pueden ser abarcables dentro de una descripción única" (porque la medición precisa de la posición excluye la posibilidad de la descripción precisa del momento en la misma situación experimental, lo que hace necesaria otra situación experimental en la que se describa con precisión el momento pero en la que no ha de ser posible una descripción precisa de la posición). D1 y D2 son necesarias para dar una versión física de una determinada partícula en la que se diga todo lo que se puede decir y sólo lo que se puede decir sin ambigüedad, para lo cual era imprescindible, según Bohr, utilizar exclusivamente conceptos de la física clásica, los únicos que pueden ser entendidos clara y no ambiguamente en toda comunicación.

Por supuesto, subyace a todo ello, tal como Einstein lo percibió desde el comienzo, una postura extremadamente empirista-operacionalista que reduce el ser a lo que puede ser percibido y operacionalmente medido; o sea el ser de la realidad física se identifica con la experiencia fenoménica de la misma. Además, Einstein disentía en cuanto a la prioridad e imprescindibilidad del vocabulario de la física clásica, para proponer hipótesis y leyes de la física. Así, por ejemplo, Einstein rechazó siempre, la tesis de complementariedad: las descripciones

complementarias no pueden ser sólo y todo lo que puede establecerse teóricamente en física.

Todo ello presupone una clara postura de Einstein acerca del objetivo de la física totalmente opuesta a la de la interpretación de Copenhague y, por añadidura, a la posición de Mach al respecto.

En su Autobiografía, Einstein afirma que "la física es un intento de captar conceptualmente la realidad tal cual es independientemente del acto de ser observada."¹³ Einstein, a diferencia tanto de Mach como de los miembros de la interpretación de Copenhague, cree que es posible, basándose en los siempre logrados intentos de abarcamiento y unificación llevados a cabo en el pasado, pasar a un nivel subyacente al fenoménico (o a un nivel subyacente al de la realidad cuántica). Este movimiento más allá de la realidad fenoménica fue siempre anatema, tanto para Mach como posteriormente para Bohr, Heisenberg, y otros. Para estos últimos ello implicaba cometer el pecado mortal de apelar a la metafísica.

Einstein siempre ironizó, luego de 1927, acerca de la actitud anti-metafísica a la que consideró insostenible porque "conduce a lo mismo que el principio de Berkeley '*esse est percipi*' ".¹⁴ Negar la pertinencia de la metafísica en la actividad física teórica es, tal como él sostiene en su crítica a Mach, "negar el carácter esencialmente constructivo y especulativo del pensamiento, y especialmente del pensamiento científico".¹⁵

Einstein explicitó algunos supuestos metafísicos que él asumía para poder explicar la posibilidad de acceso al mundo real a través de la investigación científica. Entre otros, siempre mencionaba "lo que Leibniz describió como una armonía pre-establecida" entre el mundo de las cosas y el de nuestras construcciones teóricas. Ello, en la marcha de la ciencia, daba lugar a un aumento en la unidad de los fundamentos. El otro supuesto metafísico que Einstein siempre menciona es el de la simplicidad de la naturaleza, lo que justifica su reiterada decisión de adoptar como criterio de selección de hipótesis y teorías a la más simple entre las empíricamente viables.

¹³ A. Einstein (1988, 3-94).

¹⁴ A. Einstein (1988, 667).

¹⁵ A. Einstein (1988, 21).

De ahí que Einstein afirme que "todo verdadero teórico es una suerte de metafísico domesticado, no importando cuán 'puro positivista' él se imagine ser".¹⁶

Es difícil imaginar postura más anti-machiana.

VI. Una mirada retrospectiva desde el punto de vista del oportunismo epistemológico

Parece sensato concluir que en el largo peregrinaje de Einstein a través de su obra no hay claramente demarcadas líneas divisorias en relación a la influencia o no influencia de Mach en dicha obra, aunque hay ciertas fechas-mojones en donde es evidente la presencia de cambios relevantes. Como, por ejemplo, (i) antes de 1905, (ii) en 1905, (iii) entre 1905 y 1915, (iv) de 1915 a 1922, donde en este último año se produce un claro y explícito abandono de Einstein de la posición de Mach, (v) 1927-1930 en donde comienza su discusión con Bohr y Heisenberg, la que involucra un alejamiento de Mach, (vi) posterior a 1935, año de su famoso trabajo en colaboración con Podolsky y Rosen proponiendo la incompletitud de la mecánica cuántica, a partir del cual enfatiza sus profundas diferencias con Mach, como en los trabajos de 1938 y 1948, las que no van a cambiar hasta su muerte (véase el Apéndice para una sinopsis general en términos de diferentes temas).

En verdad, tal peregrinaje lo es de un alejamiento gradual, con algunos saltos cualitativos como los indicados, y provocados especialmente por tener que adoptar la posición filosófica más adecuada para algún cambio científico producido en esa época.

Los cambios en su posición acerca de Mach no son puros ni unilaterales. Creemos que Einstein nunca fue estrictamente machiano (concepción de las leyes científicas como no reducibles a correlaciones entre observables, énfasis en los cambios revolucionarios que Mach nunca sobredimensionó como tales, su desacuerdo con el anti-atomismo machiano, etc.). Aunque, por supuesto, siempre, con excepción de su alejamiento final, le dio importancia al análisis de conceptos y principios, al abandono de nociones newtonianas inaceptables para Mach. Es necesario señalar, además, que Mach reconoció antes que Einstein, ya poco

¹⁶ A. Einstein (1982, 337).

después de 1910, que Einstein había dejado atrás su empirismo crítico de corte machiano.

Tampoco hay que dejar de reconocer que existen tensiones obvias entre lo que Einstein dice en una época (por ejemplo, entre 1915 y 1921) y lo que dice de esa época años más tarde al reconstruir su postura de ese momento; la tendencia es que al hacer dicha reconstrucción tiende a enfatizar su alejamiento de Mach.

No hay duda, además, de que hay en el desarrollo en el tiempo de la postura epistemológica de Einstein una tendencia general de alejamiento de Mach, especialmente después de la teoría general de la relatividad, cosa que se exacerbó a partir de su crítica a la interpretación de Copenhague de la mecánica cuántica.

Por sobre todo, hay una constante indudable: en cada momento Einstein tomó de distintos filósofos y corrientes epistemológicas lo que le convenía para dar cuenta de la postura epistemológica más adecuada para explicar la situación científica de ese momento.

Ello es lo que Einstein sagazmente rotuló 'oportunismo epistemológico': "los científicos, puestos a filosofar, deben parecer al epistemólogo sistemático como oportunistas usurpadores [por ir adoptando posturas epistemológicas que van variando según las necesidades científicas del momento]".¹⁷ Ello involucra, además, un claro reconocimiento por parte de Einstein de que "hay una relación recíproca entre epistemología y ciencia" pues es obvio para él, tal como lo confirman sus cambios epistemológicos respecto de Mach, que las cuestiones epistemológicas están fuertemente basadas en los problemas que presentaba la ciencia del momento.¹⁸

A vuelo de pájaro, tal como Einstein lo reconoció, "su posición contiene elementos de empirismo y racionalismo extremo". Creemos que lo que varía en distintos momentos, y por razones de la marcha de la investigación científica del mismo Einstein, es el peso relativo de ambos componentes. De ahí que haya elementos machianos más o menos intensos en cada época, con tendencia a su disminución a lo largo de los años.

No puede dejar de mencionarse el notable impacto que tuvo en el desarrollo mismo de la filosofía de las ciencias del siglo XX la relación "Mach en Einstein". Tal

¹⁷ A. Einstein (1988, 683).

¹⁸ *Ibid.*

como Ph. Frank lo ha señalado, el positivismo lógico *circa* 1920-29 fue el resultado de tratar de adaptar la postura de Mach a los métodos de la teoría general de la relatividad.¹⁹ Se trató de proponer una filosofía de las ciencias acorde con los nuevos desarrollos en física teórica. Los principios de la física no contenían sólo conceptos como 'rojo', 'caliente', etc., que eran llamados "términos observacionales". Los principios, en cambio, eran concebidos como producto de la imaginación libre humana y podían contener cualquier término abstracto o símbolo. Sin embargo, sigue diciendo Frank, tales principios no podían ser validados apelando a la imaginación, o a la simplicidad lógica. Ellos sólo podían ser considerados 'verdaderos' si los enunciados acerca de observaciones derivados como conclusiones a partir de ellos eran confirmados por la experiencia. Esto parece estar de acuerdo con el modo en que Einstein "ancló" su teoría de la gravitación en la base sólida de hechos observables derivando fenómenos como los del corrimiento hacia el rojo de las líneas espectrales, etc. Y ocurre que, cuando leemos textos de Einstein posteriores al Círculo de Viena (como sus contribuciones al volumen Schilpp), su propuesta acerca de sistemas científicos para que no degeneren en metafísica es consistente con la descripción de los positivistas, la cual, como Frank propone, estaba inspirada en la postura de Einstein.

Esto pone en evidencia, otra vez, la indudable interacción e influencia mutua siempre enfatizada por Einstein entre su ciencia y su filosofía. Debe además remarcarse, algo que Frank olvida mencionar, que Einstein abjuró explícitamente de la filosofía general del positivismo lógico, especialmente después de 1935, justamente por su excesivo horror a la metafísica, lo que le impedía adoptar una versión adecuada de la incidencia de la metafísica en ciencia y de la naturaleza del trabajo del físico teórico.

Por lo tanto, los positivistas lógicos fracasaron en su proyecto de presentar una filosofía de las ciencias fiel a la obra de Einstein pues, en oposición a Einstein, el positivismo lógico negó rotundamente la incidencia de la metafísica en la física debido a su erróneo reduccionismo ontológico (ser, reducido a ser percibido). Einstein siempre abjuró del criterio empirista del significado, la llave maestra neopositivista para demarcar ciencia de metafísica. No hay necesidad de tal

¹⁹ Ph. Frank (1988, 243-268).

demarcación, de acuerdo a Einstein. Por el contrario, es conveniente establecer siempre dónde y cómo la metafísica interviene en la obra del físico.

El oportunismo epistemológico de Einstein nos invita también a comprender el fracaso de todo intento de rotular con algún "ismo" su postura epistemológica, desde empirismo pasando por realismo científico hasta realismo crítico o motivacional.²⁰ Estrictamente, ninguno de ellos se ajusta a su postura como un todo, especialmente porque fue cambiando oportunamente. Siempre se puede utilizar algún texto para refutar el "ismo" que se pretenda imponer. Además, sea cual sea el momento, hay en él aspectos que no responden exclusivamente a una sola de las posturas epistemológicas mencionadas para elucidar el *status* cognitivo de una posición científica acerca del mundo físico.

De ahí que lo único pertinente es indicar en cada caso cuáles son los distintos ingredientes epistemológicos de la posición de un determinado científico u obra filosófica en un determinado momento sin pretender alcanzar una postura monista, perenne, incambiable y abarcadora.

Tal actitud constituirá el más riguroso tributo a la sagaz afirmación de Einstein: " la epistemología sin contacto con la ciencia deviene un esquema vacío. La ciencia sin la epistemología es primitiva y confusa".²¹ El carácter cambiante de una postura científica es el mejor garante del carácter utópico inadecuado de proponer una versión filosófica única y abarcadora de la correspondiente

²⁰ Por ejemplo, Planck, Popper, Bunge, entre otros, visualizaron a Einstein como realista científico, según el cual las leyes corresponden a regularidades en los hechos del mundo y donde la verdad es entendida como correspondencia, enunciado por enunciado, con los hechos. Fine, en cambio, rechaza tal interpretación realista extrema y propone que se lo caracterice como "realismo motivacional", según el cual su compromiso con el realismo no se extiende más allá de su prosecución de teorías realistas, o sea, de teorías organizadas alrededor de un modelo conceptual de un dominio fáctico independiente del observador, modelo que abarque la totalidad de los datos empíricos disponibles, proveyéndonos de una representación causal e independiente del observador. Todos estos rasgos no deben ser entendidos como un conjunto de rasgos de la naturaleza sino como una familia de restricciones a las teorías utilizadas para explicarla. El realismo debe ser entendido, en Einstein, como un programa para construir teorías de un determinado tipo. Tal realismo debe operar como una fuerza motivacional para construir tal tipo de teorías, que incite a los científicos a construir teorías en contraste con el programa positivista. Que todo ello produjera teorías confirmadas y conocimiento, fue visto por Einstein como un milagro (carta de 1952 a Solovine). Fine agrega que "este realismo motivacional es un modo de circunscribir el milagro". Otros rotularon a su realismo como estructural, crítico, incluso con ingredientes kantianos, y en otras versiones como estrictamente anti-kantiano, etc. Todas pecan de ser versiones unilaterales y pretensiosamente omnicomprensivas.

²¹ A. Einstein (1988, 684).

aproximación epistemológica. La historia fluctuante de "Mach en Einstein" es un ejemplo paradigmático de tal imposibilidad.

Bibliografía

Einstein, A. (1951), *The Principle of Relativity*. New York: Dover Publ. Inc.

Einstein, A. (1982), *Ideas and Opinions*. New York: Crown Publishers.

Einstein, A. (1988), "Autobiographical Notes", en P. Schilpp, ed. *Albert Einstein. Philosopher-Scientist*. La Salle, Illinois: Open Court-London: Cambridge University Press, 3-94.

Einstein, A. (1988), "Reply to Criticisms", en P. Schilpp, ed. *op. cit.*, 665-668.

Einstein, A., B. Podolsky, L. Rosen. (1935). "Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality Be Complete?", *Physical Review*, 47, 777-780.

Fine, A. (1986), *The Shaky Game: Einstein, Realism and the Quantum Theory*. Chicago: University of Chicago Press.

Frank, Ph. (1988), "Einstein, Mach, and Logical Positivism" en P. Schilpp, ed. *op. cit.*, 269-286.

Holton, G. (1975), "Mach, Einstein and the Search for Reality", en *Thematic Origins of Scientific Thought. Kepler to Einstein*. Cambridge, Mass-London: Harvard University Press, 219-260.

Mach, E. (1892), *The Science of Mechanics*. Chicago, Open Court.

Mach, E. (1895), *Popular Scientific Lectures*. Chicago: Open Court.

Mach, E. (1897). *The Analysis of Sensations*. Chicago: Open Court.

Schaffner, K. (1974), "Einstein versus Lorentz: Research Programmes and the Logic of Comparative Theory Evolution", *British Journal for the Philosophy of Science*, 25.

Zahar, E. (1989), "Mach and Einstein", en *Einstein's Revolution. A Study in Heuristic*. La Salle, Illinois: Open Court, 123-148.

APÉNDICE

1. Acerca de la Mecánica

Mach: Críticas a (i) los conceptos de espacio y tiempo absolutos, (ii) inercia, y (iii) la mecánica como base de la física. Fuerte rechazo del atomismo.

Einstein (circa 1905): Está de acuerdo con Mach acerca de (i) -(iii). Aceptación del atomismo.

Einstein (después de 1915): No hay cambios respecto de 1905.

2. Conceptos y leyes

Mach: Los conceptos son concebidos como símbolos del mundo de la experiencia. Refieren a complejos de elementos (sensaciones). Todo lo hecho con ellos permanece dentro de la experiencia; tiene connotaciones operacionalistas. Las leyes son agregados económicos de experiencias individuales que establecen relaciones de dependencia funcional. El conocimiento se expande por similitud y analogía.

Einstein (circa 1905): Los conceptos, al menos algunos de ellos, son creaciones libres de la mente humana. Hay aspectos operacionalistas en la formación de ciertos conceptos (simultaneidad). Las leyes no son entendidas como meras relaciones de dependencia funcional. Tienen valor estructural. Refieren a algo distinto que meras experiencias.

Einstein (luego de 1915): Énfasis creciente en el carácter creativo-libre de los conceptos. No operacionalismo. Referencia más allá de la experiencia. Las leyes refieren a regularidades estructurales, a lo que es objetivo en sí.

3. Objetos físicos

Mach: Los objetos físicos son complejos de colores, sonidos, etc. Nada es postulable más allá o por detrás de ellos.

Einstein (circa 1905): Los objetos físicos no son reducibles a complejos de elementos.

Einstein (luego de 1915): Reafirmación de la no reducibilidad de los objetos físicos a complejos de elementos.

4. Principio de Mach

Mach: La investigación científica consiste en la búsqueda de relaciones de dependencia funcional entre los fenómenos. Causa-efecto es reducible a una relación de dependencia funcional.

Einstein (circa 1905): Acepta el principio de Mach de modo no reduccionista: deben buscarse relaciones funcionales, pero las leyes son más que ello. Tampoco se acepta la reducibilidad de la relación causa-efecto a una mera dependencia funcional.

Einstein (luego de 1915): Hay cada vez menos énfasis en el Principio de Mach con el consiguiente robustecimiento del fuerte carácter óntico de la relación causa-efecto.

5. Economía, simplicidad, y unidad.

Mach: Acento en la economía, aunque exclusivamente a nivel fenoménico (en conceptos y leyes exclusivamente a ese nivel).

Einstein (circa 1905): Acento en simplicidad y unidad, sin enfatizar el nivel ontológico de su validez.

Einstein (luego de 1915): Simplicidad y unidad tienen ahora connotaciones ontológicas más allá de lo meramente fenoménico.

6. Física e historia

Mach: La física, especialmente si se pone el acento en sus problemas, es relativa al momento histórico. Pero Mach enfatiza los principios que son válidos a través de toda la historia (como nexos entre los distintos momentos de ella).

Einstein (circa 1905): No hay tal énfasis en la continuidad de la física a través de sus principios. Se sobredimensiona la necesidad de rupturas no acumulativas.

Einstein (luego de 1915): Se pone el acento en lo que es válido más allá de las circunstancias históricas, y en las rupturas, a la vez que en la necesidad de abandonar ciertos principios.

7. Objetivo de la ciencia

Mach: Descripción ideal de la experiencia (nuestras leyes científicas describen hechos, lo que significa que cada enunciado científico describe directamente nuestra experiencia).

Einstein (circa 1905): El objetivo de la ciencia es explicar adecuadamente, lo cual no requiere descripción directa de los hechos de la experiencia.

Einstein (luego de 1915): El objetivo es la representación y explicación del mundo exterior real. Las leyes explicativas refieren la estructura racional de dicho mundo.

8. La física y las otras ciencias

Mach: La física tiene continuidad temática y explicativa con la fisiología y la psicología. Todas ellas están férreamente relacionadas a colaborar con la adaptación, y por ende son funcionales a la evolución.

Einstein (circa 1905): La física se autosostiene, sin relación con la fisiología y la psicología, aunque está relacionada con la epistemología. O sea, no está necesariamente vinculada a la evolución.

Einstein (luego de 1915): Mayor distanciamiento respecto de la postura de Mach, y, consecuentemente mayor énfasis en lo sostenido en 1905.

9. Física y metafísica

Mach: Fuerte e incambiable rechazo de la metafísica, especialmente acerca de su incidencia en la física.

Einstein (circa 1905): No rechazo explícito de la metafísica.

Einstein (luego de 1915): La física está fuertemente permeada por supuestos metafísicos: armonía pre-establecida, simplicidad del mundo real, etc.

10. Física y filosofía

Mach: Filosofía entendida como una interpretación de los métodos de la ciencia. Está centrada en la epistemología. Empirismo fuerte (la experiencia es el único y decisivo test). No existencia de meta-leyes en el discurso científico. Ni instrumentalismo, ni idealismo.

Einstein (circa 1905): Filosofía centrada en epistemología. Existencia de meta-leyes. Empirismo débil.

Einstein (luego de 1915): Primacía de la ontología por sobre la epistemología. Las características del mundo real determinan el tipo de aproximación cognoscitiva. Rechazo reiterado de toda forma de positivismo y de toda forma de empirismo exclusivista.