Peter Galison: «Einstein creía en la existencia de una correspondencia entre los fenómenos y la teoría»

Posted on 1 de octubre de 2005 by César Gómez

En 2005 celebramos el centenario del *annus mirabilis* en que un joven Albert Einstein publicara cuatro artículos destinados a cambiar la historia de la Física. Para conmemorar este extraordinario evento, la UNESCO ha declarado el año 2005 como el Año Internacional de la Física. *Revista de libros*ha querido unirse a esta celebración con una entrevista, en exclusiva para esta publicación, en la que el profesor Peter Galison, de la Universidad de Harvard, pasa revista a algunos de los aspectos más importantes del pensamiento, la ciencia y la filosofía de Albert Einstein.

Desde nuestra manera actual de hacer ciencia, parece casi un milagro que un joven de apenas veinticinco años, empleado en una oficina de patentes en Berna y con escaso contacto con el mundo académico, pudiera en un período de pocos meses sentar las bases de las dos grandes revoluciones científicas del siglo pasado: la relatividad y la mecánica cuántica.A pesar del enorme atractivo que indudablemente tiene la interpretación romántica de un joven genio aislado, no es esta quizá la interpretación más apropiada para entender el momento cultural –a principios del siglo XX – en que germina el pensamiento de Einstein y muy en particular su teoría más personal: la relatividad especial.

El profesor Peter Galison, físico, historiador y filósofo de la ciencia, Mallinckrodt Professor of History of Science and Physics en la Universidad de Harvard, y sin duda uno de los líderes internacionales en el campo de la Historia y la Filosofía de la Ciencia, ha escrito recientemente un magnífico libro, *Einstein's Clocks, Poincaré'sMaps*, en el que se describe el momento cultural en la Europa de principios del siglo XX como un ejemplo de lo que Galison denomina «opalescencia crítica», término que, tomado de la teoría de las transiciones de fase, pretende servir como metáfora para referirse a una situación epistemológicamente compleja donde se funden cuestiones filosóficas, tecnológicas y físicas, dando lugar a un interesante fenómeno de realimentación mutua.

La cuestión filosófica sobre qué es el tiempo, a la que subyace la imagen metafísica de un tiempo absoluto newtoniano y, por consiguiente, la de un concepto absoluto de simultaneidad, se funde con el problema tecnológico y más prosaico de definir protocolos

prácticos para la sincronización de relojes distantes mediante señales. No es en este sentido accidental, para el desarrollo de esta historia, que Einstein viviera en Berna –es bien conocido el amor de los suizos por los relojes– y que fuera ésta una de las primeras ciudades europeas donde se desarrolló un método electromecánico para la sincronización de los diferentes relojes públicos de la ciudad.Tampoco es accidental que, como empleado en la Oficina de Patentes, le llegaran a Einstein algunos modelos de sincronización de relojes por medios electromecánicos, sobre los que debió elaborar los correspondientes informes.

Con anterioridad a Einstein, el matemático francés Henri Poincaré, el otro héroe de la historia que nos relata Peter Galison en su libro, había ya propuesto definir simultaneidad sobre la base de protocolos de sincronización de relojes distantes mediante señales de luz. El conflicto, que resuelve Einstein de manera magistral, se crea al comparar esta definición de tiempo –inseparable de las propiedades físicas de la señal que usemos: la luz– y la imagen de un tiempo absoluto newtoniano. El conflicto se había agudizado después de los experimentos de interferometría de Michelson y Morley que indicaban que la velocidad de la luz era independiente del movimiento de la fuente. La única salida, desde la perspectiva de una imagen mecánica como la de Poincaré o Lorentz, consistía en postular dos tipos de tiempo: uno real y absoluto, basado en la imagen mecánica newtoniana; y uno ficticio, consistente con el protocolo de sincronización mediante señales de luz. El problema que se presentaba entonces era el de encontrar nuevas leyes físicas, dentro del marco de la mecánica, capaces de servir de manual de traducción entre estas dos formas de tiempo. El cambio de punto de vista llevado a cabo por Einstein radica en elevar el protocolo de sincronización mediante señales de luz a definición de tiempo real y derivar de las propiedades de la luz aquellas del tiempo. Estas primeras reflexiones suscitadas por la lectura del último libro de Peter Galison motivan las primeras dos preguntas.

–¿Piensa usted que el problema de Henri Poincaré para producir la relatividad especial fue su incapacidad para abandonar una imagen metafísica de objetividad basada en la idea de éter?

–Debemos ser muy precisos cuando hablamos de Poincaré y de la relatividad. En particular debemos preguntarnos qué queremos decir exactamente al hablar de relatividad. ¿Estamos refiriéndonos, por ejemplo, al principio de relatividad tal y como se aplica éste a la electrodinámica? Si es así, Poincaré no sólo tenía el concepto, sino que el propio término «principio de relatividad» es suyo. Más aún, desde un punto de vista matemático, Poincaré tenía, como es natural, una comprensión extraordinaria del electromagnetismo. No sólo se había dado cuenta de que las transformaciones de Lorentz forman un grupo (algo que Einstein también había descubierto), sino también de la existencia –y esto antes que el propio Minkowski– de cantidades espacio-temporales que no cambiaban al pasar de un sistema de referencia a otro. Pero, en cualquier caso, su pregunta es una buena pregunta.

Aunque Poincaré no pensó en el éter como algo que pudiera encontrarse de manera experimental, sí pensó que el éter era un concepto demasiado útil como para ser abandonado. El éter, para Poincaré, constituía un magnífico instrumento para pensar, y para él sacrificar un útil instrumento de pensamiento era una locura, un abandono sin recompensa. Sin embargo, mantener el éter comporta la existencia de un sistema de referencia especial, aquel en el que el éter está en reposo. Poincaré tomó el tiempo en este sistema de referencia como el tiempo verdadero, el tiempo real, y consideró todos los otros tiempos, definidos de manera relativa a cualquier sistema de referencia inercial, como meramente aparentes o ficticios. Por lo tanto, debo decir que, en efecto, puesto que Poincaré abominaba abandonar el concepto de éter, también detestaba abandonar su consecuencia más inmediata, esto es, la existencia del tiempo verdadero asociado al sistema especial de referencia en el que el éter estuviera en reposo.

–¿Cómo se conjuga en el pensamiento de Einstein su idea de la relatividad y la definición de simultaneidad como sincronización de relojes?

–Desde muy joven Einstein tenía la intuición de que no debería ser posible alcanzar una onda de luz. Después de todo, no teníamos razones ni experimentales ni teóricas para pensar que pudiéramos encontrarnos en la situación de ver ondas eléctricas congeladas en el espacio. Ciertamente, desde muy joven, Einstein sabía que había algo especial acerca de las ondas de luz que las hacía diferentes de, digamos, las ondas de sonido o de agua donde es desde luego posible movernos a su velocidad y contemplarlas cambiando sólo en el espacio, pero no en el tiempo.

En este sentido, es interesante que repasemos de manera muy precisa cómo procede Einstein en su artículo de 1905. Lo primero que dice es que las leyes de la física deben ser las mismas en todos los sistemas de referencia inerciales. Después nos dice que la velocidad de la luz no debería depender de la velocidad de la fuente. Esta segunda hipótesis es, a mi manera de entender, una transferencia de las viejas intuiciones que tanto él como su audiencia tenían sobre el éter de Lorentz. En el sistema de referencia, en el que el éter esté en reposo, la velocidad de la fuente es irrelevante para la velocidad de la propagación de la luz una vez que ésta ha sido emitida. La razón es básicamente la misma por la que la velocidad del sonido del zumbido de un mosquito, que se mueve dentro de una habitación, no depende de su velocidad de vuelo. Dicho esto, Einstein nos dice que las dos hipótesis anteriores llevan aparentemente a una contradicción. En efecto, si uno se mueve respecto a las diferentes fuentes de luz, en unos casos verá la luz moviéndose hacia nosotros y en otros alejándose de nosotros, lo que debería llevarnos a pensar en diferentes velocidades de la luz.Ante esta aparente contradicción, Einstein nos dice que las cosas no son así. Einstein nos dice que la clave para reconciliar los dos principios radica en una crítica de los conceptos de

espacio y tiempo. La sincronización de relojes constituye para Einstein el puente entre los dos principios. En efecto, una vez que hacemos que simultaneidad signifique nada más que idénticas lecturas en relojes distantes sincronizados, podemos suscribir el principio de relatividad y la independencia de la velocidad de la luz respecto de la velocidad de su fuente. En este sentido, las propiedades de la velocidad de la señal luminosa quedan ligadas al razonamiento de Einstein sobre sincronización de relojes.

–De lo anterior parece deducirse claramente que gran parte del obstáculo conceptual que Einstein fue capaz de superar radica en el abandono de una imagen de tiempo absoluto o, si se prefiere, de esa idea de simultaneidad absoluta que está intuitivamente ligada a un concepto de objetividad que solemos modelar con lo que a Hilary Putnam le gusta llamar «el punto de vista de Dios». Para dar este salto fue sin duda importante, como usted señala en su libro, una reflexión previa sobre el componente convencional de cualquier definición de tiempo. La propia definición de simultaneidad propuesta por Einstein podría interpretarse como una pura convención cuya utilidad –que para las convenciones podría ser lo equivalente a hablar de objetividad– radica, como usted acaba de explicar, en su especial sintonía con el principio de relatividad. ¿Piensa usted que la utilidad de una convención está siempre ligada a alguna forma de principio de invariancia?

–Un pensamiento interesante. Creo que aunque Einstein había aprendido mucho acerca del papel de las convenciones de Poincaré, ambos científicos hacían diferentes lecturas de la idea de lo que era una convención. Poincaré no entendía que las teorías hacían referencia, término a término, al mundo. Entendía, en cambio, que las teorías eran instrumentos, más o menos convenientes, para captar relaciones entre fenómenos. Para Poincaré debería existir siempre un cierto grado de libertad en cómo nosotros escogemos estas leyes. Pero de entre todas ellas, la elección de la más simple, la más conveniente, no reflejaba en sí misma una convención sino, muy al contrario, algo objetivo: el tipo de objetividad que subyace al hecho de que cualquier persona racional diría que multiplicar por un número con un dígito es más sencillo que hacerlo por números de dos dígitos. Al contrario que Kant, Poincaré nunca tuvo en mente cómo deberían pensar Dios o los ángeles u otros seres. Como buen representante de la Tercera República, cuando decía «conveniente» quería decir conveniente para usted o para mí, no para marcianos o ángeles.

¿Está ligado este concepto de objetividad con algún invariante? En un cierto sentido, lo está, aunque quizá no un invariante en un sentido estrictamente matemático. Einstein utilizaba el concepto de convención de una manera ligeramente distinta. Él también pensaba que existían convenciones.Al igual que Poincaré,él creía, por ejemplo, que la manera de sincronizar relojes era convencional, pero al mismo tiempo Einstein, al menos en bastantes ocasiones, adjudicó una cierta realidad platónica a las ecuaciones de la física. Como a él

mismo le gustaba decir, las ecuaciones capturan algo verdadero acerca del mundo y no simples consistencias entre los resultados experimentales. Dicho esto, para Einstein la convención de simultaneidad subyace de manera absolutamente central a los dos pilares de la teoría de la relatividad.

–Al hilo de lo anterior, recuerdo ese comentario de Wittgenstein en sus *Remarkson Foundations of Mathematics* cuando nos dice, en su inigualable estilo, que la profundidad de la esencia corresponde a la profunda necesidad de convenciones. ¿Qué opina de esta afirmación de Wittgenstein?

–Quine, que creía que toda la ciencia –incluyendo la lógica– podía ser alterada, dijo una vez que en futuras revisiones de la ciencia estaríamos muy inclinados a preservar el protocolo de simultaneidad de Einstein y yo coincido totalmente con él. La definición de simultaneidad de Einstein y Poincaré es convencional pero, aun así, depende tanto de ella que abandonarla desbarataría vastos campos de nuestra comprensión teórica del mundo. En este sentido, como Wittgenstein nos dice, la esencia, en su sentido más metafísico, está inextricablemente ligada a una profunda necesidad de convenciones. Cualquier otra definición de necesidad profunda nos abocaría, muy probablemente, a una metafísica sin sentido.

–Abusando quizás un poco del lenguaje, ¿cree usted que, parafraseando de nuevo a Wittgenstein, podríamos decir que después de Einstein, el tiempo deviene en una regla del juego de la cinemática?

–Desde luego que sí. El tiempo es una regla del juego de la cinemática y la cinemática, para Einstein, es el punto de partida no sólo de la electrodinámica, sino de todas las leyes de la física. Mi única condición al usar un lenguaje de «reglas» o convenciones es –como sugerí al responder a la anterior pregunta– no confundirlo con la posibilidad de elegir, sin pagar precio alguno, de una manera distinta.Al menos en lo referente al caso particular de la regla de sincronización de relojes, cualquier alteración de la misma llevaría al caos en nuestra comprensión de la electrodinámica, la física de partículas y, posiblemente, de gran parte del edificio de la física moderna.

–¿Cree usted que Einstein da un primer paso hacia lo que podríamos describir como la disolución de la dicotomía entre cinemática y dinámica al interpretar toda forma de interacción como un intercambio de información?

–Yo creo que lo que Einstein tenía fundamentalmente en la cabeza eran ideas acerca de la causalidad. Él estaba preocupado por el orden causal de las cosas. Por ejemplo, en el caso de las señales superlumínicas su principal preocupación era que dichas señales violaran el orden

causal. Yo creo que la cuestión sobre el intercambio de información vino más tarde y que no fue parte del pensamiento original de Einstein. En otras palabras, yo no creo que Einstein hubiera interpretado su objeción a la existencia de señales superlumínicas apelando a un imposible intercambio superlumínico de información.

Volviendo a la cuestión sobre cinemática y dinámica. Para cualquier físico en 1905, excepto para Einstein, el juego de la física comenzaba con la dinámica. Lo importante era descubrir el tipo de fuerzas eléctricas y magnéticas que cambiaran la forma del electrón o el tipo de interacción capaz de explicar las diferencias en las fuerzas entre las partículas eléctricas de las que está hecha la materia, al cambiar de sistema de referencia. Por ejemplo, para Lorentz, el problema dinámico fundamental era entender cómo los brazos del interferómetro de Michelson se encogían como consecuencia de la interacción entre el éter y los átomos de los que estaba hecho el interferómetro. Una vez resuelto el problema de las fuerzas, la mayor parte de los físicos creían que se podrían derivar a partir de ellas las leyes del comportamiento de los cuerpos rígidos en el espacio. La dinámica fundamentaba y era en este sentido previa a la cinemática. Einstein es el primero en cambiar este orden. Lo que Einstein nos dice es que primero debemos resolver los problemas de la cinemática, es decir, el problema del movimiento libre de fuerzas, y sólo después podremos enfrentarnos al problema de descubrir cómo las fuerzas eléctricas y magnéticas cambian de un sistema de referencia inercial a otro. En otras palabras, no es que Einstein rompa las barreras entre cinemática y dinámica; lo que hace más bien es modificar el orden del argumento. El eslogan de Einstein podría ser: ¡Primero la cinemática!

–Son bien conocidos los problemas que Einstein tuvo con la mecánica cuántica, teoría que Einstein siempre consideró incompleta. ¿Cree usted que los problemas de Einstein con la mecánica cuántica se deben al hecho de que asumía que cualquier forma de interacción podía siempre interpretarse como intercambio de información, dejando de esta manera fuera el problema del enmarañamiento cuántico? ¿Piensa usted que Einstein, al enfrentarse a la mecánica cuántica, no tuvo la valentía, que había tenido al crear la relatividad, de abandonar una intuición mecánica y sustituirla por la confianza en una estructura formal?

–Los puntos de vista de Einstein sobre mecánica cuántica son, por sí mismos, todo un campo de investigación. Déjeme, sin embargo, intentar poner en contacto las objeciones de Einstein a la mecánica cuántica y la manera en que Poincaré y Lorentz se enfrentan a la relatividad. Einstein creía profundamente en la existencia de una correspondencia entre las características de los fenómenos y las características correspondientes de la teoría. Por ejemplo, en el caso de la relatividad, Einstein observa que algunos elementos de la teoría –como simultaneidad absoluta, éter o tiempo verdadero– no correspondían a nada observable. En mecánica cuántica, lo que Einstein afirma, por ejemplo, en su trabajo con

Podolsky y Rosen, es que existen aspectos de la situación experimental que no están en correspondencia con ningún elemento de la representación teórica. Al contrario que Bohr, Einstein creía que existía un procedimiento experimental que nos debería permitir predecir de manera exacta la posición y el momento.A partir de aquí, Einstein concluía que, puesto que en mecánica cuántica no había manera de representar un sistema físico con momento y posición simultáneamente bien definidos, entonces la teoría era incompleta.

En este sentido, las objeciones de Einstein a la interpretación usual de la mecánica cuántica eran opuestas al tipo de objeciones que él mismo había hecho a la interpretación de sus competidores de la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. Lorentz y Poincaré tenían para Einstein una teoría demasiado rica mientras que, para él, los mecanocuánticos contaban con una teoría demasiado pobre.

–¿Era Einstein consciente en 1905 de las conexiones entre sus consideraciones sobre la naturaleza del tiempo y el problema de conservación de la energía que había suscitado el descubrimiento de la radiactividad natural a finales del siglo XIX?

–Desde luego. En su famoso artículo donde establece la conexión E = mc 2, Einstein, partiendo de la relatividad y la conservación de la energía, deduce la ecuación más sorprendente de toda la física. Einstein nos está diciendo que comencemos con el concepto de tiempo y que razonemos a partir de él. El problema de la sincronización nos lleva a la relatividad de la simultaneidad. La relatividad de la simultaneidad nos lleva a la relatividad de las longitudes. La relatividad de intervalos de tiempo y longitudes lleva a una verdadera revisión de la electrodinámica que pasa a ser verdaderamente relativista. De todo esto y de las leyes de conservación puede derivarse, como nos muestra Einstein, que la propia energía es ella misma un concepto relativista y que masa y energía son tan intercambiables como espacio y tiempo, o electricidad y magnetismo. El mundo de la ciencia no ha visto nunca nada parecido.

–Este año celebramos el centenario de la relatividad. A lo largo de todos estos años el concepto de relatividad ha sido exportado a diferentes campos de la cultura. Un ejemplo bien conocido en filosofía es la famosa relatividad ontológica de Quine. En el campo de la filosofía del lenguaje hemos abandonado conceptos como los de referencia absoluta, sustituyéndolos por el más wittgensteiniano de reglas de uso, un paso que no deja de resultar análogo al abandono en relatividad de un tiempo absoluto en favor de una regla de sincronización. Un cambio de perspectiva que, con Wittgenstein y su argumento de los lenguajes privados, ha sido empujado hasta el punto de vista en primera persona. En este sentido, ¿qué nos podría comentar sobre las influencias de la relatividad en el campo de la filosofía?

–La teoría especial de la relatividad promueve las cuestiones de perspectivismo a un lugar central en la esfera de la cultura. Inmediatamente después de la aparición de la teoría, surgen las críticas a la idea de un punto de vista absoluto o privilegiado en campos diversos, que van desde la poesía o la pintura hasta la filosofía o la teología. De manera más precisa, el Círculo de Viena y sus seguidores en la fundamentación de la filosofía de la ciencia, así como en otras ramas de la filosofía del siglo XX, se vieron tremendamente influidos por las devastadoras críticas de Einstein a la idea de una perspectiva privilegiada. Schilck, Carnap, Neurath,Wittgenstein, Reichenbach, Cassirer y muchos otros tomaron esta nueva forma de entender el mundo como un modelo de cómo atacar otros aspectos de la filosofía. No sé si Wittgenstein tenía en mente la crítica de Einstein al espacio absoluto o al éter al formular su argumento en contra de los lenguajes privados, pero lo que sí es evidentemente cierto es que, directa o indirectamente, la revisión del conocimiento de la naturaleza llevado a cabo por Einstein ha dejado su impronta en nuestra visión del mundo.