

EL RELATIVISMO EN LA FÍSICA DEL SIGLO XX.

LA POLÉMICA EINSTEIN – BOHR

Todos reconocemos en las palabras de Protágoras: “el hombre es la medida de todas las cosas: de las que son, en cuanto que son; de las que no son, en cuanto que no son” como el primer manifiesto relativista en Occidente.

Leon Robin explica el pensamiento del sofista con estos términos: “La sensación es individual y contingente, es un fenómeno totalmente subjetivo; el viento no es frío sino, para mí, y en el momento en que yo tengo frío. El objeto de la sensación no existe, sino en esta medida, pero verdaderamente se transforma sin cesar. Todo es, en efecto, movimiento y cambio incesante... Sólo la individualidad transitoria del estado del medida de la real” (1).

Platón replica, en “Las Leyes” que “Dios es la justa medida de todas las cosas, mucho más que un hombre, cualquiera que él sea” (2).

Jaeger nos recuerda que Protágoras decía, de la Divinidad, que no es posible decir si existe o no (3).

Hubserl, por su parte, interpreta las palabras del sofista, diciendo que, según Protágoras, “toda verdad y todo conocimiento son relativos al sujeto que juzga en cada caso”.

Y más adelante agrega: “Principios como el de no contradicción se funden en el sentido de la verdad y por tanto hablar de una verdad subjetiva que sea para el uno, ésta para el otro, lo contrario, resulta, necesariamente, un contrasentido (4).

Las palabras de Platón hallaron eco en el pensamiento cristiano cuando Santo Tomás nos dice que la certidumbre de la ciencia, como ya he dicho, tiene algo que debe solamente a Dios, quien nos dio la luz de la razón, por la cual conocemos los principios de los cuales surge dicha certidumbre (5).

Este origen divino de la verdad no excluye la posibilidad de que un hombre pueda transmitir ciencia a otro hombre.

Lo que nos asegura el Aquinate es el origen divino de la verdad, principio que nos ayuda a superar cualquier forma de relativismo.

Apoyados en estos principios filosóficos y también teológicos, nuestra intención es descubrir el estado actual de la física y destacar una de sus manifestaciones más controvertidas.

Los descubrimientos de Max Planck y de Albert Einstein abrieron un nuevo camino, camino que se sistematizó entre los años 1925 y 1927, por obra de Werner Heisenberg y Erwin Schrödinger.

Hasta el descubrimiento de los cuantos, efectuado por Planck, en 1900, la opinión de los físicos era la siguiente: la energía -la capacidad de producir trabajo- se transmitía sin saltos, vale decir, en forma continua. Tal es la teoría ondulatoria.

Planck, por su parte, sostiene -sobre la base de sus propias experiencias- que la energía -en este caso energía calórica- se transmite por cuantos, vale decir, cantidades indivisibles y no en forma continua.

El trabajo de Planck, conocido como “La teoría de distribución de la energía en el espectro normal” intentaba explicar la descomposición que sufre la energía, cuando un cuerpo negro -es decir, aquél que absorbe toda la energía que recibe- se calienta.

En este caso, la intensidad de la energía que despidió el cuerpo negro, crece hasta un máximo para descender -inopinadamente- llegado este límite.

Por lo tanto, y de acuerdo con esta experiencia, la energía no se transmite en forma continua. Otro aporte importante a la revisión de los conceptos de la teoría de la radiación -vale decir la transmisión de energía- fue brindado por Einstein, pocos años más tarde, cuando trató el efecto fotoeléctrico.

Las experiencias de Einstein lo llevaron a afirmar que la estructura corpuscular de la luz no era incompatible con la vieja teoría ondulatoria. Por efecto fotoeléctrico entendemos una descarga de electrones (partículas de carga negativa) que son desprendidos por una fuerza eléctrica.

Por este efecto, se probaba que la emisión no era exclusivamente un fenómeno ondulatorio, sino también corpuscular. Volvía a tener vigencia la teoría corpuscular de Newton tal como estaba sostenida en los “Principia” de 1687, aunque dentro de un marco conceptual distinto, provocado por las leyes de Clark Maxwell, que unificaron el magnetismo y la electricidad: ambos constituían una sola fuerza.

Después de los descubrimientos de Planck y de Einstein, los hombres de ciencia procuraron dar una base sólida a los descubrimientos mencionados, que habían inducido a la física, a un verdadero estado aporético: ¿cómo se transmite la luz: por ondas o por corpúsculos?

Había fenómenos que se inclinaban por la naturaleza ondulatoria de la luz, como eran los fenómenos de interferencia -es decir, la anulación mutua de los rayos que se propagan en el mismo sentido- y el de difracción -es decir, la división e inflexión de los rayos luminosos

cuando pasan por los bordes de un cuerpo opaco- y había otros fenómenos que inclinaban por la naturaleza corpuscular de la luz, como los conocidos por las experiencias de Planck y de Einstein.

Las ecuaciones de Maxwell dieron el instrumento matemático para la radiación luminosa, en el año 1855.

Y en los años 1886 y 1887 Enrique Hertz confirmó, experimentalmente, la existencia de ondas electromagnéticas. Este autor descubrió, además, que una descarga eléctrica entre dos electrodos -vale decir, entre los polos positivos y negativos de dicha descarga- se facilita cuando sobre uno de ellos incide luz ultravioleta. La razón de ello es que dicha luz facilita la descarga debido a que ocasiona la emisión de electrones desde la superficie del cátodo, es decir, el polo negativo.

Por ese motivo, se denomina al fenómeno, efecto fotoeléctrico, fenómeno que no pudo ser explicado dentro de una teoría ondulatoria de la luz, porque dicha teoría exige que el vector eléctrico oscilante de la onda luminosa, aumente en amplitud, con el crecimiento de la densidad de la corriente, lo que no ocurre con el fenómeno observado. Esta circunstancia abría el camino para la interpretación corpuscular del fenómeno.

Por ese motivo, en 1905, Einstein buscó otorgar al fenómeno una explicación similar a la de Planck con respecto a la radiación térmica y, de la misma manera que Planck introdujo los cuantos, Einstein introdujo los fotones.

La innovación de Einstein fue revolucionaria, ya que abrió el camino para conciliar la concepción ondulatoria de la luz con la concepción corpuscular.

A pesar de que el efecto fotoeléctrico sirviera para apoyar a la concepción corpuscular, esta no era capaz de explicar la luz como un chorro de corpúsculos, pues la luz conserva sus propiedades de interferencia y difracción, las que son propias de fenómenos ondulatorios y nunca corpusculares.

En la mecánica clásica se utilizan, para la descripción de los cambios, dos variables que se denominan dinámicas: ellas son la posición y la cantidad de movimiento.

El problema que se plantea, en este caso, es conciliar el movimiento de partículas con la difusión de las ondas.

Parecería que volvemos al viejo problema planteado por Newton sobre la naturaleza de la luz.

La luz presenta propiedades, ya mencionadas, que determinaron el abandono de la tesis newtoniana.

El fenómeno fotoeléctrico dio oportunidad a Einstein para reinstalar la explicación corpuscular, con grandes modificaciones, por cierto.

En el año 1897, J. J. Thomson descubrió los electrones. Estos van a jugar un papel importantísimo en la explicación de Einstein.

Recordemos que Einstein concibe la luz como una fluxión de fotones que, al incidir sobre una lámina de metal, produce una emisión de electrones.

Como se ve, la explicación de Einstein se enfrenta con lo que podríamos llamar la teoría clásica de la luz, ya aludida. Recordemos cuán difícil fue la instalación de la teoría ondulatoria frente a la hipótesis newtoniana.

El escape de electrones de la lámina de metal, es un acontecimiento que la teoría ondulatoria de la luz, no estaba en condiciones de explicar. El efecto fotoeléctrico, nombre con que se conoce el escape aludido, fue descubierto por Hertz, en 1887

El descubrimiento del electrón ya aludido, brindaría, en parte, la solución del problema. La luz, al incidir sobre una placa metálica sumergida en el vacío, arranca los electrones y crea una corriente eléctrica negativa.

Planck y Einstein dieron dos pasos decisivos para el nacimiento de la teoría cuántica.

Muchos fueron los físicos quienes, estimulados por estos descubrimientos, contribuyeron al desarrollo de la teoría aludida, en especial, Niels Bohr.

Hasta 1925, la teoría cuántica se manifestó en varios intentos de utilizar las nuevas ideas en la construcción de modelos atómicos, con en el caso de Thompson y de Rutherford, y, sobre todo al ya aludido Bohr.

Pero estos modelos atómicos no resistieron la prueba de la experiencia, vale decir, no proporcionaron base empírica a una de las nociones fundamentales, como fue la de la órbita electrónica.

Así como en la mecánica celeste los planetas recorren órbitas, en la física atómica, los electrones cumplen idéntico papel en torno al núcleo y fue justamente esta última función la que quedó desprovista de base empírica.

Al respecto, y en un escrito de 1925, Heisenberg manifestaría que él buscaba establecer “un fundamento para la mecánica cuántica teórica, apoyado exclusivamente sobre relaciones entre cantidades que, en principio, fueran observables” (6).

En la segunda mitad de la década del 20, se constituye la mecánica cuántica, con dos orientaciones distintas, tal como hoy la conocemos.

Una de estas orientaciones está representada por la mecánica de matrices y la otra, por la mecánica ondulatoria.

La primera estuvo representada por W. Heisenberg, H. Born y P. Jordan y la segunda por Eric Schrödinger, quien fue influido en sus ideas por la mecánica ondulatoria de Louis de Broglie.

El aporte de Heisenberg parece muy influido por la tradición positivista que aconseja “atenerse a lo dado”.

Esta prescripción se enfrentaba con un tema muy llamativo en esos momentos, cual era el de las órbitas de los electrones, inobservable, razón por la cual, Heisenberg la rechazó pese a la gran importancia de esta teoría en la explicación de los fenómenos atómicos.

La inobservabilidad de la órbita electrónica se debía al continuo choque de los fotones con los electrones, choque que alteraba su trayectoria y, por lo tanto, imposibilitaba su medición.

La innovación de Heisenberg fue el tratamiento matricial de las variables, vale decir, el ordenamiento en filas y columnas de todas las cantidades de tal manera que las operaciones que podemos realizar con ellas, sean conmutativas.

La otra orientación en la Mecánica Cuántica fue dada por Erwin Schrödinger, quien se apoyó en los trabajos de Broglie sobre las ondas de materia.

De Broglie había intentado sentar las bases de una teoría unificada de la materia y de la radiación, razón por la cual propuso la hipótesis de que la dualidad onda-corpúsculo es una propiedad general de los entes microscópicos y que la materia presenta, como la luz, un aspecto ondulatorio y otro, corpuscular, lo cual es una de las manifestaciones más sorprendentes, de la aparición en física, de los cuantos.

Schrödinger, por su parte, al mantener y generalizar esta noción de ondas de materia descubrió la ecuación de propagación de la función de onda, que representa un sistema cuántico dado.

Como demostró Schrödinger, la Mecánica Ondulatoria y la Mecánica de las Matrices son equivalentes. Son dos formulaciones particulares de la teoría que se puede exponer en términos muy generales.

Uno de los resultados más controvertidos en la investigación que a este respecto realizara Heisenberg, está representado por la imposibilidad de determinar, simultáneamente, la posición y el impulso de una partícula. Recordemos que ambas variables juegan un papel importante en la dinámica clásica.

Esta imposibilidad se ha traducido con el nombre de “relación de incertidumbre”.

En la mecánica cuántica, la relación aludida surge del hecho que el impulso, vale decir la masa por la velocidad, se define como un número de onda plana.

Esta situación paradójica, es decir, la equivalencia entre la localización del impulso y la localización de una onda plana, dio motivo para las más acervas críticas de físicos como Albert Einstein, que sostenía, juntamente con Podolski y Roseu, que el principio de indeterminación, llevaba a consecuencias inconsistentes.

Einstein critica el principio pero no coincide, en gran parte, con las objeciones que, en su momento, formulara Karl Popper.

Es interesante recordar las palabras de Einstein “Cabe preguntarse si, desde el punto de vista de la teoría cuántica actual, el carácter estadístico de nuestros resultados experimentales es, meramente, efecto de una intervención desde el exterior, incluyendo la medición, mientras que los sistemas, como tales, descritos por la función Psi, es decir, la función de onda, se conducen en sí mismos, de uno modo determinista (7).

La constitución de la mecánica cuántica, en dos versiones, la matricial y la ondulatoria, de alguna manera revivió el viejo litigio entre la concepción corpuscular y la radiante de la luz, con la diferencia de que una nueva teoría física había surgido, la mencionada teoría cuántica. De todos modos, el viejo litigio, ya aludido, vuelve a surgir, pero con la aparición, en la física, de otro imprevisto.

En la física microscópica son necesarios aparatos que trastornan la tradicional distinción entre el sujeto y el objeto de conocimiento.

Estos trastornos tienen, sin embargo, raíces más profundas que trascienden el aspecto instrumental y han dado origen al célebre y discutido principio de Heisenberg: el producto de la incertidumbre sobre la posición, por la incertidumbre sobre el impulso, permanece superior a una cantidad del orden h .

Ahora bien, las raíces más profundas aludidas se encuentran en las relaciones entre la mecánica matricial y la ondulatoria. En efecto, en esta última, la posición de una partícula debe determinarse siempre sobre una onda plana, lo que impone, en todos los casos, cierta imprecisión.

Los creadores de la mecánica Cuántica no dejaron de tener en cuenta lo problemático de la situación, que fue resumida por Niels Bhor al enunciar el principio de complementariedad. En él se sostiene que los modelos, corpuscular y ondulatorio, son complementarios, vale decir que los objetos físicos pueden presentarse en cualquiera de las dos formas: si una medida verifica el carácter ondulatorio de la radiación o de la materia, es infructuoso todo intento de demostrar su naturaleza corpuscular.

Los ataques al mencionado principio, pueden compararse con los que tuvo que sufrir el experimento de Einstein, Podolsky y Rosen.

En su libro “La lógica de la investigación científica”, Kart Popper combate tanto el principio como el experimento, pues les cuestiona el método de recurrir a “experimentos imaginarios”.

El autor aludido nos recuerda que dicho procedimiento se remonta a Galileo Galilei pero, en realidad, los experimentos aludidos tuvieron su origen en la física occamista del siglo XIV.

Lo importante es señalar, aquí, las consecuencias filosóficas de estas controversias.

Durante el mes de mayo de 1983, se realizó en Bari, Italia, un Simposio sobre “Problemas abiertos en Física Cuántica” y entre los temas tratados figuró, en primer lugar, un estudio sobre “El argumento de Einstein, Podolsky y Rosen”.

Las palabras inaugurales estuvieron a cargo de Kart Popper, quien dijo lo siguiente: “Yo he sido invitado a abrir esta reunión porque soy un realista. Ciertamente yo no soy sólo un realista, sino un realista metafísico. Esto es, mi realismo no se funda en la física; por lo contrario, la física se basa en el realismo”.

Llama la atención que un metodólogo de la ciencia insista con tanta firmeza en proclamar su adhesión a un realismo de raíces metafísicas cuando todavía se oían los ecos de las afirmaciones del Círculo de Viena, que proclamaban la necesidad de reemplazar la Metafísica con la Lógica del lenguaje de la ciencia.

Veinte años antes, en su Lógica de la Investigación Científica, Popper ya decía: “desde Tales a Einstein, desde el atomismo antiguo a la especulación cartesiana de la materia, desde las especulaciones de Hilbert, Newton, Leibniz y Boscovich acerca de las fuerzas a la de Faraday y Einstein en torno a los campos de fuerza, las teorías metafísicas han señalado el camino” (8).

Naturalmente, la posición de este autor no podía coincidir con las de la Escuela de Copenhague.

Uno de los principales representantes de esta escuela, Werner Heisenberg, reflexionó sobre los aspectos filosóficos de la física actual y se expresó en estos términos: “La noción de la realidad objetiva de las partículas elementales se ha disuelto, por consiguiente, en forma significativa y no en la niebla de alguna noción nueva de la realidad oscura o todavía no comprendida, sino en la transparente claridad de una matemática que describe, no el comportamiento de las partículas elementales, pero sí nuestro conocimiento de dicho comportamiento” (9).

Las expresiones anteriores nos muestran, por una parte, la actitud relativizante de la Escuela de Copenhague, en tanto que, Einstein y Popper no ocultan, aunque por diferentes motivos, su adhesión al realismo metafísico.

Hermes Puyau – Laura Daus de Puyau

Notas:

- (1) Robin, Leon: “La pensée grecque et les origines de la pensée scientifique” “La renaissance du Livre” Paris – 1923, Pág. 174 (la traducción es propia)
- (2) Platón “Leyes”: 716 C
- (3) Jaeger, Werner: “Paideia: Los ideales de la cultura griega” F. C. E. México 1957, Pág. 276 – Diels – Protágoras Frag. 4. En la página 270 de la obra citada, Jaeger hace estas observaciones: “La historia de la filosofía que nos ofrece Aristóteles en la metafísica, excluye a los sofistas, las más modernas historias de la filosofía los consideran como fundadores del subjetivismo y el realismo filosófico. El esbozo de una teoría por Protágoras, no justifica semejantes generalizaciones”.
- (4) Husserl, Edmundo: “Investigaciones lógicas” Traducción de Manuel G. Moreute y José Gaos. Tomo I, Revista de Occidente, Madrid, 1967. Pág. 145.
- (5) Santo Tomás: “De Veritate” Q. 11. a. 1.
- (6) Weinberg, Steven: “The Quantum Theory of Fields” Vol. 1. Foundation Cambridge University Press. 1995. Pág. 4.
- (7) Popper, Karl R.: “La lógica de la investigación científica”. Traducción V. Sánchez de Zavala. Ed. Tecnos, Madrid, 1967. Pág. 427
- (8) Popper, Karl R.: Op. Cit. Pág. 20.
- (9) Heisenberg, Wener: “La imagen de la Naturaleza en la Física actual”. Traducción de Gabriel Ferraté. Ed. Seix Barral, Barcelona, 1967 Pág. 15-16.