

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XIV JORNADAS

VOLUMEN 10 (2004), Nº10

Pío García  
Patricia Morey  
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



# La mecánica cuántica y el cambio de concepción metafísica

*Andrea Costa\**

## Introducción

Se afirma corrientemente que tanto la Revolución Copernicana como la del Darwinismo fueron revoluciones culturales debido a los cambios en la representación del mundo que promovieron. Para algunos, la primera significó principalmente la descentración de la Tierra como centro del Universo y, la segunda, la pérdida de centralidad del hombre en la creación. Para otros, como para Koyré<sup>1</sup>, lo más significativo de la revolución científica ha tenido lugar en el orden interno de la ciencia. En particular, la Revolución Copernicana habría sido una revolución metafísica asociada a la adopción de una concepción matematizada de la naturaleza.

Sin embargo, en el campo propio de la física, la historia de acontecimientos como el de la Revolución Copernicana aparece como un componente externo a la disciplina, en el sentido de que las nuevas cosmovisiones –una vez aceptadas– se naturalizan.

En el marco disciplinar, no sólo ocurre que los aportes científicos son leídos como descubrimientos necesarios y progresivos sino que la instancia de constitución de una subjetividad que es condición de posibilidad de dichos cambios pierde registro en el marco de la propia ciencia.

En este trabajo se plantea que con el advenimiento de la mecánica cuántica se abre un momento en el que la fundamentación disciplinar de esta teoría requiere, como uno de sus prerrequisitos, la toma de conciencia del lugar que el sujeto impone a la teoría. Se sostiene que el problema del sujeto observador –como necesario componente de la descripción del sistema físico de interés– es más que lo que ello parece indicar en las interpretaciones instrumentalistas que proceden sin la mención explícita del observador. Lo que la cuántica como teoría física hace imposible de negar es que la ciencia describe la naturaleza tal como la expone nuestra forma de inquirir. Esta afirmación, que para un historiador de la ciencia es una verdad aceptada, no lo ha sido para gran parte de los físicos profesionales. Ejemplo de ello fueron las discusiones entre Bohr y Einstein en el marco de las conferencias Solvay. Se puede afirmar que la coexistencia de interpretaciones de la mecánica cuántica que implican diferente compromiso ontológico –sin que ello parezca una muestra de inmadurez de la teoría– son otra expresión del reconocimiento disciplinar de la necesidad de rechazar el realismo metafísico. Se pretende mostrar que esta coincidencia entre una nueva conciencia respecto del lugar del sujeto en el marco de la teoría y el momento histórico en que ella se da, obedece tanto a razones de tipo internas como externas a la ciencia misma.

\* Universidad de Buenos Aires. CONICET.

Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 10 (2004), Nº 10

## El problema

Me referiré a cuatro cuestiones nodales, estrechamente relacionadas entre sí que muestran la naturaleza paradójica del problema de la física cuántica y las dificultades que se plantean. Ellos pueden entenderse como diferentes manifestaciones de un mismo problema ontológico que se sintetiza como el problema de la complementariedad cuántica y son: el de la imposibilidad de un esquema conceptual que retenga, a la vez, la espacio-temporalidad y la causalidad; el problema de la individuación; el del holismo cuántico y el problema de la inevitabilidad de considerar explícitamente al sujeto en la descripción del sistema. Es posible mostrar cómo es que cada uno de estos problemas remite a cada uno de los demás, de modo que esta forma de presentarlos es una división analítica del problema con la intención de mostrar las múltiples formas en que la complementariedad se expresa.

### **El problema de la imposibilidad de disponer de un esquema conceptual que sea a la vez espacio temporal y causal:**

Dar cuenta de un evento de la naturaleza, significa ser capaz de experimentarlo directamente o de conectarlo con una experiencia directa de una manera no ambigua. Para la física clásica, el conocimiento no ambiguo de una experiencia indirecta implica la existencia de una cadena causal de hechos interconectados, localizables espacio-temporalmente y por lo tanto, que la descripción espacio-temporal y la causal deben ir juntas. Sin embargo, el principio de complementariedad expresa justamente la imposibilidad de brindar tal descripción.

Al localizar espacio temporalmente un sistema se pierde, a su vez, la información causal que se conocía a partir de la ecuación de Schrödinger. Para ejemplificar el problema, tomemos el caso de la llamada partícula libre. Si se localiza "la partícula" midiendo, es decir si se instancian propiedades como la posición y el tiempo, "con un bip del detector", no puede decirse, sin embargo, que esta localización corresponde a un punto en una trayectoria, lo que clásicamente da cuenta de la descripción causal. Por otro lado, la descripción de la evolución de "la partícula libre", lo que corresponde a describir causalmente en cuántica, es dada, según el formalismo de la teoría, por la expresión matemática de una onda plana que no tiene localización alguna, o, mejor dicho, cuya localización es la de todo el espacio.

### **El problema de la individuación:**

Un problema importante de la cuántica es el de responder a la pregunta acerca de ¿en qué sentido las partículas de la física, como electrón, protón, neutrón, son individuos? Es decir, cuáles son las características de una entidad que hacen que ella sea reconocida como una, diferente de otra. La idea de individuo en la microfísica, como sustancia localizable espacio-temporalmente en la que inhiere propiedades proviene de hechos como la medición de la carga del electrón con la gota de Millikan o el describir una trayectoria en la cámara de niebla. Sin embargo, dado que en la teoría cuántica la predicación es contextual, es decir, que es imposible predicar en forma completa u omnimoda, ocurre que no hay una entidad a la que -dadas todas las propiedades que le son predicables- le es asignable o bien una dada propiedad o bien su complemento, haciendo manifiesto el problema de la individuación.

### **El problema del holismo o de la no separabilidad:**

El problema de la separabilidad puede entenderse como un caso particular del anterior cuando se intenta considerar un sistema como compuesto de partes. Mediante un abuso del lenguaje, se habla de individuo respecto de las partes cuando es posibles reconocerlas separadas espacio-temporalmente. Sin embargo, esta separación no implica una separación en el sentido de que el todo se reduce a sus partes. El holismo del sistema se hace manifiesto debido a que las propiedades de una parte están indefectiblemente correlacionadas con las propiedades de la otra de forma que no es posible violar el principio de indeterminación -es decir el principio que afirma que las propiedades incompatibles no pueden ser predicadas en forma conjunta, más allá de una cierta incerteza<sup>2</sup> - cuando este se aplica al sistema entendido como un todo. Es decir, el haber supuesto la separabilidad o la individuación de las partes conduce al resultado de que ellas no son ontológicamente independientes<sup>3</sup>. De modo que el problema de la separabilidad remite al de la individuación y este al de la determinación omnimoda.

Otro problema, asociado a esta discusión es el del número de configuraciones estadísticas de las partículas idénticas. Lo que se manifiesta macroscópicamente depende del número de configuraciones microscópicas. Si las partículas fueran clásicas y distinguibles, dos partículas en un mismo estado corresponderían a dos posibilidades que se suman en cuanto a su probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, dado que esto no ocurre es posible atribuir este hecho a la imposibilidad de pensar al sistema como compuesto por dos entidades en vez de compuesto por una sola.

### **El problema de la inevitabilidad de considerar explícitamente al sujeto en la descripción del sistema cuántico:**

A diferencia de la física clásica la física cuántica impide tratar los fenómenos como si se describieran realidades en sí dado que la determinación que el objeto cuántico recibe de la subjetividad que lo conoce es más profunda que la del mismo objeto clásico.

Hay dos aspectos que hacen a la forma en que el objeto es determinado por el sujeto. Por un lado, el hecho de que un electrón se describe como si fuera una onda o como si fuera una partícula de acuerdo con las características del dispositivo experimental que se utilice para detectarlo implica que la mecánica cuántica se construye de forma explícitamente fenoménica, de modo que la física misma es la que incorpora la fenomenalidad de su objeto.

La contextualidad de las propiedades refiere a que la descripción del mundo microscópico requiere de propiedades que son mutuamente excluyentes como las de onda o partícula. Tales propiedades, que pertenecen a contextos de descripción diferentes -contexto de propiedades de partícula (como su trayectoria en una cámara de niebla) o contexto de propiedades de onda (como la longitud de onda en una figura de interferencia) - sin embargo, son ambas requeridas para dar cuenta del problema completo, aunque sólo algunas de ellas se manifiesten consistentemente con el contexto designado por un experimento dado.

Hay un segundo sentido en el que el sujeto es determinante para la descripción del problema físico y ello tiene que ver con cuestiones epistemológicas e históricas sobre las que volveremos en la discusión.

## Discusión

Vemos entonces que los cuatro problemas planteados son expresión de cuestiones íntimamente relacionadas que muestran la diferencia radical entre la fundamentación de la física cuántica y la de la clásica. La clásica admite el supuesto de que es posible describir el mundo sin referencia directa al sujeto observador y su éxito reafirma lo que ella entiende como descripción objetiva del mundo. Con la cuántica la imagen tan cara a la modernidad asociada a un mundo mecánico y predecible que no deja lugar al azar se desvanece. Para la física clásica el azar no es más que una medida de la ignorancia provisoria acerca de un problema; en cambio, para la cuántica el azar es radical, ontológicamente intrínseco al problema.

La cuántica muestra que no podemos seguir el movimiento de un objeto, que no podemos individualarlo y que si queremos describir lo que pasa en un evento, debemos aceptar que la palabra 'pasa' sólo puede aplicarse a la observación, y no a lo que sucede entre dos observaciones. La noción de partícula queda limitada a identificar, en un experimento, la instanciación de algunas propiedades que son propias de tal noción.

Es así que la noción de sustancia como un primitivo metafísico fundamental presenta muchas dificultades aun desde una perspectiva trascendental. Para Kant el sujeto trascendental es sede de la objetividad, lo que, como es sabido, no modifica la forma de predicación, no impide predicar en forma completa.

El hecho de que las categorías de Aristóteles tengan un lugar tanto en el tratado de la metafísica como en el de la lógica ha sido interpretado como el señalamiento de que las categorías, y fundamentalmente la categoría de sustancia tiene dos perspectivas convergentes desde donde ser abordadas: la ontológica y la lógica. Con palabras de Owen<sup>4</sup>: "...En mi explicación sugeriré que las bases sobre las que se apoyan las categorías son comunes a la lógica y a la metafísica. No son propiedad de ninguna sino el suelo común de ambas. ...El mismo objeto, se conoce en dos caminos diferentes. En tanto que es conocido actualmente, es individual. En tanto proporciona conocimiento que puede ser aplicado a otros individuos, causa el modo de conocimiento indefinido y potencial que es llamado universal. Es la misma naturaleza que se encuentra de las dos maneras, como universal y como individual, y así es común a ambos [...] la misma naturaleza tiene un ser de dos pliegues, existiendo en la realidad y en la mente humana "

Siguiendo esta línea de argumentación el postulado cuántico de la complementariedad expresa, en términos filosóficos fundamentales, la imposibilidad de adscribir a su objeto de estudio la categoría de sustancia desde el punto de vista metafísico y la predicación omnimoda desde el punto de vista lógico. Es entonces en este sentido que puede afirmarse que el problema de la sustancia es el mismo que el de la predicación omnimoda dado que se refieren a la misma naturaleza en el sentido que indica Owen.

Pero además, la imposibilidad de predicar omnimodamente remite no sólo a los problemas de la noción de sustancia como primitivo metafísico, sino además, hace evidente para el tratamiento disciplinar, a diferencia del caso clásico, que la relación sujeto-objeto es inescindible en el abordaje del problema.

Ahora bien, cabe entonces preguntarse cuales son los márgenes de libertad de determinación del problema por parte del sujeto en el marco de la física cuántica.

Y hay dos sentidos en que puede darse una respuesta a esta pregunta. El primero está asociado a los comienzos de la construcción teórica -por ejemplos, en las conferencias Solvay- con las discusiones que llevaron a debilitar las posiciones del realismo dogmático, al menos en la forma tradicional en que este debe entenderse. Dado que lo que se hace explícito en la etapa de constitución del formalismo es el carácter fenoménico y la contextualidad de la predicación, la indeterminación que explicita el objeto cuántico al comparárselo con el clásico, es decir, los márgenes de determinación que el sujeto tiene respecto del problema son los que ofrece la contextualidad: el sujeto determina el contexto en el que unas propiedades y no otras se manifestarán.

Sin embargo, los planteos de fundamentación están lejos de cerrarse o más bien, lo que nos lleva al planteo del segundo sentido en el que el sujeto es determinante del problema, no está claro que esto vaya a ocurrir. La necesidad de aceptar el formalismo -para la tarea disciplinar- implicó, por lo general, la naturalización pragmática del instrumentalismo sin que ello suponga la aceptación consciente de tal posición. Esta interpretación puede entenderse, como una lectura empirista para la que el formalismo no es más que un algoritmo que permite predecir y operar técnicamente. Sin embargo, desde los comienzos de la cuántica han surgido múltiples interpretaciones alternativas a la instrumentalista con diferente grado de aceptación que han dado muestras de perdurabilidad. El segundo sentido en que es posible afirmar que hay un margen de libertad en la determinación del sujeto es el que brinda la elección de diferentes interpretaciones, todas ellas con distinto compromiso ontológico en el sentido que Quine puntualiza<sup>5</sup>.

Heisenberg propuso reconocer a las entidades matemáticas como lo único que realmente persiste de la estructura cuántica<sup>6</sup>. Para él, la matemática cumpliría el rol de reflejar la estructura del mundo. Sin embargo, más allá de la matemática asociada al formalismo, además del instrumentalismo, existen otras interpretaciones que agregan estructura matemática al problema y que, por tanto, siguiendo a Heisenberg, remitirían a diferentes estructuras del mundo. Pero, más allá del problema específico del lugar de la matemática en el planteo, distintas interpretaciones: las que proponen conservar un realismo con cambio de lógica, la interpretación modal, la de la información, las interpretaciones fuzzy<sup>7</sup>, la asociada a muchos mundos, etc., ofrecen también universos de interpretación que denotan diferente compromiso ontológico. Es decir, las estructuras del mundo cuántico a la que hacen referencia son diferentes más allá de su acuerdo en cuanto al formalismo básico de la teoría.

Lo que con esto se pone en evidencia, y que no se agota con la fundamentación instrumentalista es la existencia de elementos de organización por parte de otras interpretación, que constituyen el acto desde donde se observa el mundo cuántico, y que por tanto no son un a priori de él. Hay una indeterminación extra del problema que reclama el reconocimiento explícito de esta situación en el marco propio de la comunidad científica. Es en este segundo sentido, de orden histórico y epistemológico, que es necesario dar un nuevo lugar al sujeto en la descripción de las ciencias naturales.

Si bien la comunidad científica de la época clásica pudo ignorar el carácter fenoménico del problema clásico, cuestión que la cuántica debió posteriormente

admitir en forma explícita, los cien años de historia transcurridos sin que una interpretación ontológica única pueda ser esgrimida parecen reclamar una definición en este sentido.

### *Notas*

1 Koyré A., "Los orígenes de la ciencia moderna. Una interpretación nueva", en *Estudios de historia del pensamiento científico*, México, Siglo XXI, 2a. edic., 1978, p. 61-75.

2 No importa cual sea la distancia a la que se encuentran las dos partes entre sí.

3 Téngase en cuenta que los experimentos garantizan la imposibilidad de intercambiar información entre ellas.

4 Owen J., "Aristotle on Categories", en *The Collected Papers of Joseph Owens*, Catan (ed.), Albany, State University of New York.

5 Quine W., "Acerca de lo que hay", en *Desde un punto de vista lógico*, Barcelona: Ariel, 1962.

6 Heisenberg, W.: 1949, *The Physical Principles of the Quantum Theory* (Transl. C. Eckart and F. C. Hoyt), Toronto, Dover.

7 French, S. and D. Krause: 1995, "Vague identity and quantum non-individuality", *Analysis* 55, 20-26.