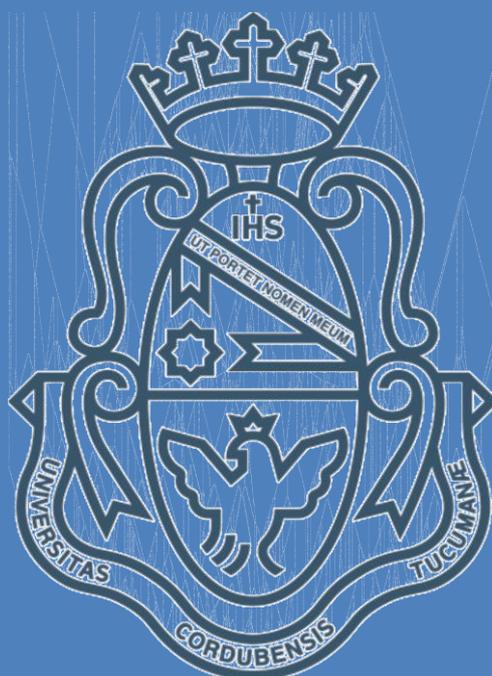


EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada
Marzio Pantalone
Víctor Rodríguez
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



Consideraciones wittgensteinianas a la estructura de la mecánica cuántica

Andrea Costa y Silvia Rivera†*

1- La lógica como límite de la teoría cuántica

A la hora de formalizar las propiedades de los sistemas cuánticos, la estructura lógica en que se fundaron tales formalizaciones ha resultado “no-clásica” (Birkhoff y von Neumann, 1936, Jauch, 1973)¹. La insistencia en utilizar los razonamientos y esquemas conceptuales clásicos para interpretar el mundo microfísico deviene traumáticamente paradójica. Este es el caso del “gato de Schrödinger” que pensado en términos tradicionales nos enfrenta a conclusiones tales como la que sostiene que en el “mundo” microfísico existen estados “extraños”, que combinan estados tipo “gato vivo” con otros tipo “gato muerto”. El análisis de los sistemas cuánticos nos conducen a paradojas² derivadas de su estructura lógica “no clásica” de la teoría.

Una atención cuidadosa respecto de la precisión discursiva podría apuntar que lo que no puede afirmarse, cuando hablamos del mundo microscópico, es la existencia simultánea de algunas propiedades. Como si no pudiéramos afirmar que “cara” y “ceca” son dos lados de una moneda. Podemos decir que cualquier operación sobre una partícula elemental que determina el valor de una variable cuántica debe simultáneamente dejar impreciso, o más bien falto de sentido, el valor de, al menos, otra variable: la variable canónicamente conjugada. Cuando entre dos variables se da una conexión de este tipo se dice que son incompatibles.

Si llamamos contextual a la descripción de un sistema en términos de algunas propiedades y no de otras vemos que la estructura de la mecánica cuántica es tal que los “objetos” que describimos son contextuales. En la descripción clásica o en la descripción cotidiana, en cambio, los contextos desde los que “miramos” son compatibles, describen el mismo objeto desde puntos de vista diversos pero no excluyentes. Precisamente, que los contextos son compatibles significa que las propiedades pueden predicarse en forma conjunta y que podemos representarlas perteneciéndole al objeto. Por el contrario, en mecánica cuántica no todas las propiedades son compatibles. Las propiedades que se manifiestan dependen del contexto o bien del dispositivo experimental que se decida utilizar para una medición; arreglos experimentales diferentes manifiestan o “hacen aparecer” propiedades no sólo diferentes, sino incompatibles unas con otras.

Por una parte, no poder hacer afirmaciones simultáneas de variables conjugadas impone un “mundo” microfísico que no puede ser pensado en términos de objetos materiales con propiedades (sustancia y accidente). Pero por la otra, tampoco es posible una representación en términos de sucesión de eventos espacio-temporales relacionados de acuerdo con el principio de causalidad. Del hecho de que la posición y la velocidad se presenten como propiedades contextuales incompatibles entre sí, se sigue la imposibilidad de describir en el espacio de las fases la evolución temporal de una partícula.

* UBA-CONICET

† UBA-UNLa

Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 12 (2006)

Bohr ha insistido en la significación filosófica del concepto de complementariedad al entender que la representación espacio-temporal y el principio de causalidad son mutuamente complementarios. Si se entiende la causalidad como el enlace de estados físicos sucesivos por parte de una ley física, es sabido que las leyes clásicas enlazan estados representables espacio-temporalmente. La causalidad clásica consiste precisamente en que tal representación es posible. En la teoría cuántica, en cambio, la causalidad entre estados físicos ocurre, paradójicamente, en el espacio de representación de los estados cuánticos (espacio de Hilbert) de características no homologables al espacio-tiempo, y la ley que los vincula es la ecuación de Schrödinger.³ Tanto una ontología de cosas como una ontología de eventos, vistas ambas como alternativas no competitivas en una descripción cotidiana de objetos, son igualmente no viables para el abordaje que plantea la mecánica cuántica.

1.1- Los peligros de la cuántica

En los momentos de crisis teóricas y epistemológicas -Planck llamó a la cuántica una teoría explosiva y peligrosa- (citado Cassirer, 1966:109) se impone con frecuencia el uso forzado de términos correspondientes a teorías anteriores. Se trata de desplazamientos semánticos, en tanto se utilizan viejas palabras con significados nuevos. En este caso, nos enfrentamos con una *mecánica* cuántica que no es "mecánica"; con *objetos* que deben ser adjetivados como contextuales, en tanto su objetividad débil es contextual; con una *causalidad* que no puede ser pensada en términos espacio-temporales; con *partículas* que no son individuos, porque nada tienen que ver con el "aquí" y "ahora" de un individuo clásico; con sistemas que ya no son partes separables de un todo sino la expresión de un dispositivo experimental; con una *realidad* a la que no cabe la predicación omnimoda en tanto no puede pensarse separada del observador. Queda claro que los usos tradicionales del lenguaje se desestructuran, que se reconfiguran otros usos, con otras reglas que al cabo de un tiempo pierden algo de su peligrosidad para devenir cada vez más estables, articuladas y sólidas, pareciendo nuevamente incorruptibles.

En este proceso de consolidación de las teorías, a través de la reestructuración de usos del lenguaje, el caso de la cuántica resulta paradigmático. Las incomodidades teóricas pronto se ven desplazadas por el éxito predictivo, por el alto poder de precisión y la gran variedad de aplicaciones tecnológicas que de ella resultan y así los físicos comienzan a perder interés acerca de problemas de interpretación filosófica, que con el tiempo son considerados aún problemáticos sólo por los principiantes. Aunque sigue faltando una representación única, acabada y hegemónica acerca de cuáles son las entidades a las que la cuántica refiere, desde el punto de vista de la práctica profesional, las discusiones se acallan. Y es que una vez que se logra estructurar lógicamente la teoría, esta resulta ser finalmente un algoritmo que sirve para predecir (Peres, 1993).

1.2- La estructura lógica de las teorías físicas

El delineado lógico de la teoría cuántica data de 1936 y se debe a von Neumann y Birkhoff, quienes desarrollaron una estructura matemática, tanto para la mecánica clásica como para la cuántica, que puede considerarse un modelo matemático del sistema de lógica de las teorías físicas. Las estructuras, llamadas retículos, modelan la descripción de los "mundos" clásico y

cuántico respectivamente. Un retículo se define como un conjunto con una relación de orden parcial y tal que entre cualquiera de dos de sus elementos existen dos operaciones llamadas ínfimo y supremo de los elementos en cuestión. Las proposiciones acerca de un sistema físico cualquiera forman un retículo ortocomplementado y completo.

La física clásica es tal que su retículo de proposiciones es además booleano, es decir, todas las proposiciones son compatibles, se pueden predicar en forma conjunta (pertenecen al mismo contexto). Se cumple la propiedad distributiva entre proposiciones enlazadas por los conectivos. La lógica cuántica, en cambio, resulta descripta en términos de una estructura ortocomplementada que no es booleana: no cumple la propiedad distributiva ligada a los conectivos “y” y “o” sino una relación más débil llamada igualdad modular. La relación de orden es la de inclusión de subespacios del espacio de Hilbert, el conectivo “y” se asocia a la intersección de subespacios y el “o” a la generación de subespacios o suma directa de subespacios del espacio de Hilbert.

1.3- La fundamentación de la lógica

A partir de aquí, y teniendo en cuenta que toda alternativa que se correspondiera con una imagen clásica del “mundo” microfísico resultaba rechazada al ser homologable a una realización de la lógica clásica, quedó establecida la necesidad de un cambio de lógica para la estructuración de la cuántica como teoría. Sin embargo, la presentación de la cuántica en términos de su estructura lógica, nos abre a importantes discusiones acerca de los fundamentos de la lógica y la matemática, acerca del *status* de las proposiciones de las ciencias formales y también acerca de los alcances y límites de la necesidad que ellas instalan.

Desde un punto de vista histórico han habido reacciones diversas ante la estructura lógica de la teoría; algunos niegan que la lógica cuántica sea lógica debido a que su adopción obedeció a razones empíricas (Piron, 1976; Jauch, 1976) y por lo tanto la entienden como una parte del álgebra. En el otro extremo están los que piensan, como Putnam que la lógica de Birkhoff y von Neumann es una lógica rival que representa la única interpretación posible de las conectivas. La lógica clásica debería recuperarse, desde esta perspectiva, en el límite de la lógica cuántica dado que la mecánica clásica se obtendría como límite de la mecánica cuántica (Mittelstaedt, 1998).

Creemos que hay una forma de encarar los dilemas filosóficos de la cuántica a partir de los trabajos de Ludwig Wittgenstein quien nos presenta un modo inédito de encarar la cuestión de las ciencias formales. Wittgenstein insiste en el valor del trabajo con las paradojas, tema que nos ocupa, observando que cuando cambiamos la dirección de la mirada advertimos que, en verdad, no había allí problema alguno sino tan sólo una confusión lingüística o gramatical. El problema que desaparece es, precisamente, el de la fundamentación de la lógica. Para Russell y Frege, los fundadores del logicismo, es posible reconstruir la lógica sobre una base axiomática estricta de conceptos y proposiciones a las que atribuyen una referencia objetiva y fundamentable. Por su parte, Hilbert, el fundador del formalismo, lleva a cabo una axiomatización completa de la matemática, a la que supuso creaciones formales y arbitrarias, poniendo el acento en el aspecto operativo y funcional y dejando totalmente de lado el contenido interpretativo. En oposición al logicismo, para Hilbert las proposiciones

matemáticas no tienen contenido cognitivo con independencia del signo, la regla y las fórmulas que permiten operar. En tercer lugar, Brower hace de la actividad intelectual implicada en el proceso de prueba el factor determinante. La demostración matemática es para los intuicionistas una construcción intuitiva y no formal realizada mediante la introspección. De modo que el objeto de la matemática es el registro postfactum de los principios de razonamiento empleados en la construcción matemática, es actividad constructiva en el medio de una intuición interna, básica, independiente de la lógica y el lenguaje.

2- La propuesta de Wittgenstein

La polémica de Wittgenstein con los representantes de las posiciones señaladas puede reconstruirse a partir de sus escritos publicados bajo el título *Observaciones a los fundamentos de la matemática*. En este texto Wittgenstein resignifica los problemas, desplazando las preguntas que tradicionalmente guiaron a físicos y a lógicos (Wittgenstein, 1987).

Para Wittgenstein las proposiciones de la lógica y la matemática no son descriptivas y por lo tanto no puede predicarse de ellas verdad o falsedad. Son pseudoproposiciones sin contenido cognitivo que funcionan como reglas orientadoras de la conducta. Precisamente su carácter normativo las asemeja a reglas que prescriben cursos de acción posibles. De este modo, la atención se dirige a la praxis, pues es allí donde anclan estas proposiciones y donde hay que dirigir la mirada para aprehender el fundamento de su necesidad.

Wittgenstein advierte acerca de las diferencias funcionales entre las proposiciones empíricas respecto de las formales. Las empíricas tienen sentido antes de la corroboración de su verdad o falsedad. En cambio, en las proposiciones formales el sentido no antecede a la verdad sino que se deriva del proceso en el que nos convencemos de su carácter verdadero. Si algún sentido les ha de ser asignado es precisamente el carácter a priori que adjudicamos a su verdad y que se muestra en el hecho de que decidimos regir a través de ellas nuestra experiencia.

El carácter normativo de las reglas lógicas y matemáticas suele verse enmascarado en una falaz identificación de estas con proposiciones descriptivas. Esta confusión nos lleva a pensar, por ejemplo, que se pueden objetivar los conceptos formales y que el sentido de las reglas puede concebirse con independencia del sistema de cálculo que instauran. Pero lo más relevante para la concepción de una teoría física es que la confusión citada nos hace creer que cuando operamos con expresiones matemáticas *descubrimos* cuando lo que en realidad hacemos es *inventar*. Este último punto clarifica un aspecto fundamental para repensar el problema de las paradojas en mecánica cuántica: nos alerta acerca del presupuesto casi ineludiblemente presente en la práctica profesional del físico: el supuesto de que su tarea *devela*, es decir, corre el velo que opaca la realidad, posibilitando en consecuencia que esta se manifieste tal como es.

La importancia de la lógica y la matemática radica precisamente en que al no ser posible un contacto directo con objetos "reales", es en el uso socialmente disciplinado de las reglas formales que establecemos la fijeza y regularidad de los elementos de eso que llamamos "mundo". Los objetos son representados en las proposiciones a través de nombres, pero a partir de la interdefinibilidad que establecen las reglas de derivación lógica entre proposiciones. De

este modo, la lógica determina las características de lo que consideramos datos del mundo empírico, comprometiéndonos con determinados puntos de vista que delimitan nuestro pensamiento y nuestra acción, posibilitando en consecuencia la comunicación entre los hombres.

3- La teoría cuántica como límite de la lógica

Nos proponemos aquí lo que Wittgenstein llama “disolver la paradoja” y eso se logra reorientando la mirada sobre el planteo de los problemas, de modo tal que estos resultan desplazados en su sentido, inaugurando nuevos espacios para la formulación de nuevas preguntas. Porque al decir de Wittgenstein, aunque este tipo de ejercicio intelectual aparenta dejar todo como está (Wittgenstein, 1988:129) al liberarnos de las trampas y falsas ilusiones a las que conducen los usos estereotipados del lenguaje nos permite lograr la justa visión de la relación entre nuestras prácticas y nuestros conceptos. Esta “justa visión” (Wittgenstein, 1979:202) es condición de posibilidad para la identificación de cursos de acción alternativos, para la ampliación de nuestra capacidad no sólo de conocer sino muy especialmente de hacer. La praxis se ubica entonces en el centro de la escena y llegamos a ella, precisamente, atendiendo a las paradojas del lenguaje; paradojas que nos indican los límites de nuestra práctica discursiva. Límites que no pueden ser traspasados, pero sí modificados cuando decidimos ubicarnos en ellos para, desde allí, trabajar sobre el lenguaje y el mundo.

Al analizar las paradojas que nos plantea la cuántica, advertimos la posibilidad de establecer un paralelo entre la tendencia a objetivar los correlatos de las proposiciones que expresan operaciones matemáticas -por ejemplo, mostrando gestualmente agrupaciones de objetos para evidenciar el contenido de “sumar”- con la tendencia a objetivar los elementos a los que refieren las proposiciones de la física, por ejemplo a través de la reiteración de preguntas tales como las que indagan respecto de la clase de “objeto” que el electrón es. Cuando se avanza en la instrucción, estas conductas dejan de realizarse, pero esto no indica que la cuestión esté resuelta sino que el adiestramiento ha sido exitoso. (Cf. Kripke, 1989)

La posibilidad del citado paralelo se funda en el hecho de que ni la pregunta por el sentido de la suma ni aquella que interroga acerca de la naturaleza del electrón tienen sentido. No lo tiene la pregunta por el “objeto” de la misma manera que no lo tiene la regla de la suma. Los conceptos formales, la misma noción de “objeto”, en general las proposiciones o “pseudoproposiciones” de la lógica y la matemática con sus respectivos conectivos, aluden a operaciones que sólo pueden ser mostradas.

La pregunta por la “objetividad” del electrón se corresponde con el orden del mundo creado por el discurso de la física clásica. El sólo hecho de comenzar a hablar o a preguntar nos compromete con un modo de ver y obrar que, justamente, resulta cuestionado con la cuántica. En este sentido, creemos que la cuántica se presenta como un límite para la lógica clásica, y para el modo de ver y obrar que esta lógica instituye.

En los comienzos de este trabajo señalamos que para la física moderna, y para la filosofía del conocimiento que a ella corresponde, la pregunta acerca del tipo de “mundo” que describe la mecánica cuántica resulta controversial. Desde la perspectiva wittgensteniana cabe considerar la cuestión desde la propuesta del cambio de mirada. Podemos reconocer visiones

del mundo contrapuestas y entre ellas dos extremos en permanente tensión. Por una parte, la representación del mundo que corresponde a las ciencias naturales y a la lógica clásica que las sostiene: un mundo que aparece ordenado en función de una referencialidad externa al lenguaje. En la posición opuesta encontramos la representación que concibe un orden no referencial. La primera visión, de la que se hacen eco los lógicos y matemáticos que a principios de siglo debatían sobre los fundamentos de las ciencias formales, consideran que las leyes científicas que ordenan el "mundo" requieren necesidad, universalidad y por ende ahistoricidad. Para la segunda, entre las que nos interesa la perspectiva de Wittgenstein, nada escapa a las determinaciones sociohistóricas. Ni siquiera la necesidad lógica y matemática.⁴ Tampoco las leyes de la física que ya en el *Tractatus* son presentadas como prescripciones gramaticales que en cada época nos indican en qué términos debemos realizar nuestras descripciones del mundo (Wittgenstein, 1979: 187 y 188).

Es así posible resignificar la pregunta por la clase de mundo que describe la mecánica cuántica. Desde la primera perspectiva (respetando el principio de complementariedad) se ha respondido que debemos reconocer la existencia de dos "mundos": uno clásico y otro cuántico (Bohr, 1935). En este último se ubica todo lo que resulta paradójico, contingente, indeterminado. Ante esta estrategia, Wittgenstein afirmaría tal vez que el imperativo de preservar un mundo "necesario" corresponde a la profunda necesidad que tienen los hombres de contar con parámetros indudables sobre los que asentar las bases comunicativas de la sociedad.

Advertimos así que algo corresponde en el mundo a la necesidad de las proposiciones lógicas y matemáticas. Lo que corresponde es de orden práctico, no teórico. Son las condiciones materiales de vida de los hombres, son sus formas efectivas de trabajar, de obrar. ¿Por qué no leer entonces un libro de lógica y matemática como un libro de antropología, que nos cuenta como razonan y calculan los hombres? (Cf. Wittgenstein, 1987:159).

4- Consideraciones finales

La relación entre lenguaje y mundo excede los términos de la tradicional teoría de la correspondencia. Es sin duda la pragmática la que nos abre a una mejor comprensión de esta relación. Sin embargo, cabe aún preguntar acerca de cuáles deberían ser las razones de la inviabilidad de las prácticas discursivas y no discursivas que componen nuestro lenguaje. Esto es ¿a qué se debe la inviabilidad de las leyes de la lógica clásica en la descripción cuántica? ¿En qué medida podemos asegurar que es la referencia externa al discurso la que se resiste a ser aprehendida por ella? A estas preguntas sólo podemos responder recordando que no es posible trascender los límites del lenguaje, porque es el lenguaje el que establece los hechos del mundo que percibimos. Porque la experiencia tiene límites y estos se encuentran en el carácter creador de las reglas que funcionan como leyes en el corpus de las distintas ciencias.

Ante la pregunta por la diferencia que establece la nueva manera de ver el problema -tan ajena a la forma que la práctica científica reconoce como propia⁵- se responde que debemos admitir que no hay una única descripción admisible, racional o "lógica" del mundo, y esto con independencia de que no podamos concebir más que una. Las prácticas sociohistóricas de las ciencias se constituyen en términos de acciones orientadas a fines. Y los fines representan

intereses configuradores de cosmovisiones, y de acciones que resultan significativas o "racionales" en el marco de las cosmovisiones citadas. Disolver las paradojas reorientando la mirada, implica ubicar en la praxis el fundamento último de la teoría en general y de las teorías científicas en particular. Esta radicalización del pragmatismo pone en cuestión la definición tradicional de epistemología y la reducción de su campo de estudio a la estructura lógica del conocimiento científico.

Notas

¹ Entendiendo que la lógica clásica es la que, arraigando en Aristóteles, se estructura sobre la base de los principios de identidad, no contradicción y tercero excluido, denominamos lógicas "no-clásicas" a aquellas que no reconocen por lo menos algunos de estos principios, por ejemplo el principio de tercero excluido no puede ser aplicado a cualquier par de proposiciones de la teoría.

² Utilizamos acá la palabra "paradoja" en su sentido literal además de técnico. "Para-doxa" es por definición aquello que se opone o cuestiona los supuestos de la "doxa", opinión o "sentido común"

³ La ecuación de Schrödinger describe la evolución dinámica del vector de estado en el espacio de Hilbert, espacio donde "viven" los estados cuánticos

⁴ "Pues la matemática es, ciertamente, un fenómeno antropológico" (Wittgenstein, 1987. 350).

⁵ "La distancia cultural entre este realismo científico y la filosofía del siglo XX es tan enorme que una persona que se haya educado leyendo a Heidegger y Wittgenstein, fácilmente perderá la esperanza de que conversando con un realista científico pueda ponerlo al día" (Torretti, 1996).

Bibliografía

Bohr, N. (1935) *Physical Review*, 48

Birkhoff, G., y von Neumann, J. (1936) "The logic of quantum mechanics" En: *Ann Math.*, 37, 823

Cassirer, E., (1966) *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*. Yale University Press

Heisenberg, W. (1958) *Physics and Philosophy*, Ed. J. Allen and Unwin Ltd.

Jauch, J.M., (1973) *Foundations of quantum mechanics*, Massachussets, Addison Wesley

Kripke, S. (1989) *Wittgenstein: reglas y lenguaje privado*, México, UNAM

Mittelstaedt, P. (1988) *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*, Cambridge:UP

Peres, A. (1993) *Quantum Theory: Concepts and Methods*, Dodrecht, Kluwer Academic Publishers.

Putnam, H., (1969) "Is logic empirical?" En: Cohen, R.S. y Wartofsky *Boston Studies in the Philosophy of Science*

Schrödinger, E. (1980) En *Proceedings American Society* 124, pp.323-338

Torretti, R. (1996) *THEORIA*, 11,26, 29-43.

Wittgenstein, L. (1979) *Tractatus logico-philosophicus*, Madrid, Alianza,

(1988) *Observaciones a los fundamentos de la matemática*, Madrid, Alianza,

(1988) *Investigaciones Filosóficas*, Barcelona, Crítica.