

CONSIDERACIONES WITTGENSTEINIANAS A LA ESTRUCTURA DE LAS TEORÍAS CIENTÍFICAS: EL CASO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA

ANDREA COSTA

Facultad de Filosofía y Letras (Universidad de Buenos Aires)

Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET)

costa@iafe.uba.ar

SILVIA RIVERA

Facultad de Ciencias Sociales (Universidad de Buenos Aires)

Universidad Nacional de Lanús

silviarivera@ar.inter.net

Resumen: En este trabajo, partiendo de la descripción de algunas peculiaridades propias de los fenómenos cuánticos que desde los comienzos de la teoría han resultado paradójicos, sostenemos que al interrogarlos desde una perspectiva wittgensteiniana tal perplejidad adquiere un sentido filosófico preciso que interpela en forma renovada la discusión acerca del estatus de las proposiciones de las leyes científicas. El cambio en la estructura lógica de la predicación de propiedades que se impone al aceptar el formalismo estándar de la mecánica cuántica indica, siguiendo a Wittgenstein, los límites de nuestra práctica discursiva y nos permiten reorientar la mirada de modo de disolver la paradoja.

Palabras-clave: Lógica. Física. Lenguaje. Mundo. Filosofía práctica.

Abstract: In this paper we argue that, if one analyses some well known paradoxical results of quantum mechanics from a wittgensteinian point of view, then the usually expected perplexity acquires a philosophical meaning that leads us to consider the status of the scientific laws from a new perspective. We also argue, following Wittgenstein, that the changes in the logical structure of predication that is forced upon us by the standard formalism of quantum theory show the limits of our classical discourse, and might also suggest a new perspective in which the paradox disappears.

Key-words: Logic. Physic. Language. World. Practical Philosophy.

Lo sorprendente, paradójico, es paradójico sólo en un contexto determinado, defectuoso por así decirlo. Hay que ampliar ese contexto de modo que lo que parecía paradójico ya no lo parezca. (Ludwig Wittgenstein, *Observaciones a los fundamentos de la matemática*)

1. LA LÓGICA COMO LÍMITE DE LA TEORÍA CUÁNTICA

Ya en los comienzos de la investigación de los fenómenos cuánticos sorprendieron las dificultades por interpretarlos en términos de categorías de la física clásica. Dificultades que no sólo mostraron el desdibujamiento de la noción de objeto y su correspondiente noción de objetividad, sino que se trasladaron a la formalización que luego sería llamada “lógica cuántica”. Esta lógica debe su denominación a que da cuenta de la estructura de predicación de propiedades de los sistemas cuánticos descritos por el formalismo ortodoxo¹ y a que resulta “no-clásica” (Birkhoff y von Neumann, 1936; Jauch, 1973)². Es así que la insistencia en utilizar los razonamientos y esquemas conceptuales clásicos para inter-

¹ Nos limitaremos a la consideración de la física cuántica en su versión no relativista y a las situaciones en las que las magnitudes físicas son representadas por operadores acotados de espectro discreto. Ello se debe a que ya en esta aproximación se reconocen las cuestiones peculiares que han quedado establecidas una vez aceptado el formalismo standard y que, al no haberseles encontrado una interpretación alternativa en términos clásicos han movido a la perplejidad.

² Entendiendo que la lógica clásica es la que, arraigando en Aristóteles, se estructura de forma de respetar ciertos principios como los de identidad, no contradicción y tercero excluido. Es también usual llamar “lógica clásica” a todo sistema lógico equivalente al formulado en el “Principia matemática” de Whitehead y Russell (1910). Consideramos aquí todo otro sistema lógico como “no – lógico” o rival. La denominación elegida da cuenta del peso de la lógica clásica, que puede identificarse sin rodeos con “la lógica”, en tanto los sistemas que cuestionan sus principios aún la mencionan para contraponerse a través del adverbio de negación. Para una discusión ampliada vease Haack (1979).

pretar el mundo microfísico deviene traumáticamente paradójica. Este es, por ejemplo, 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” (Schrödinger, 1980)³. Este tipo de estados, recientemente “producido” experimentalmente, son el marco de aplicación tecnológica de las computadoras cuánticas (Friedman et al., 2000; Shepelyansky, 2002).

Cuando usamos la lógica clásica suponemos que dada dos proposiciones atómicas cualesquiera ocurre que las dos son verdaderas, las dos falsas o una verdadera y la otra falsa. Para cualquier interpretación de estas proposiciones, el razonamiento expresado en estos enunciados obliga trivialmente al asentimiento. Este es el caso cuando se arrojan dos monedas: ocurre que las dos son caras, las dos ceca o una es cara y la otra ceca o viceversa. Sin embargo, el análisis de los sistemas cuánticos nos conduce a interesantes paradojas⁴ en tanto no nos permite asentir a un razonamiento equivalente al de las monedas.

Pero 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 los dos lados de

³ En términos técnicos esto expresa una característica formal de la mecánica cuántica: la de admitir estados de superposición lineal. Es decir, que la combinación lineal de soluciones es solución, de donde se sigue que los estados posibles son tales que cada vez que un sistema se encuentra en uno definido de ellos, al mismo tiempo debemos considerarlo estando parcialmente en dos o más otros estados expresando así la asombrosa característica de la cuántica de admitir estados tipo “gato de Schrodinger” (Dirac 1967, Ch. 9). El correlato de esta característica en la lógica viene dada por el carácter del conectivo de disyunción.

⁴ 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”.

una moneda. Este es el caso de las componentes del spín del electrón; no tiene sentido hablar de propiedades simultáneas de esa partícula en dos ejes espaciales. Generalizando, 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, lo que es expresado por el principio de indeterminación de Heisenberg (Dirac, 1967, pp. 3).

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.⁵ 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 –tal como indica el principio de indeterminación de Heisenberg (Feynman

⁵ La diferencia esencial que distingue un objeto clásico de uno cuántico es que, en el caso de estos últimos, no es posible predicar simultáneamente todas las propiedades de los mismos. Más bien, estas propiedades se estructuran en distintos subconjuntos del universal de modo tal que sólo las de un mismo subconjunto son determinables a la vez (los subconjuntos posibles se determinan de acuerdo con la conmutatividad o no conmutatividad de los operadores en el espacio de Hilbert (ver cita 7) que representan las propiedades). Llamaremos contexto a cada uno de estos subconjuntos. Podemos entonces afirmar que los objetos cuánticos poseen propiedades contextuales, o bien que son contextuales (sólo las propiedades de un mismo contexto se predicán simultáneamente) mientras que los objetos clásicos no. Las propiedades de los objetos clásicos están contenidas todas en un mismo subconjunto o contexto, que no es sino el conjunto universal.

et al., 1966, pp. I-11)— 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. Esto significa que arreglos experimentales diferentes manifiestan o “hacen aparecer” propiedades no sólo diferentes, sino incompatibles unas con otras.

Hay dos cuestiones que deben hacerse notar. Por una parte, 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 —tal como lo expresa el principio de complementariedad enunciado por Bohr— una representación en términos de sucesión de eventos espacio-temporales que pueden ser relacionados de acuerdo a lo que establece el principio de causalidad. Es decir, 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.⁶

Bohr, en su formulación, 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

⁶ El espacio de las fases o de posiciones y velocidades del sistema es el espacio de representación de los estados clásicos. Se puede establecer una correspondencia uno a uno entre un sistema representado en términos de sus estados clásicos y el espacio-tiempo.

(espacio de Hilbert⁷) de características no homologables al espacio-tiempo, y la ley que los vincula es la ecuación de Schrödinger.⁸

Por otro lado, es posible ver que la forma de describir “objetos” de la teoría cuántica tiene resonancias que nos recuerdan a Meignon. Afirma Heisenberg: “la función de onda que representa la situación experimental al momento de la medición (...) representa una mezcla de dos cosas, en parte un hecho y en parte nuestro conocimiento acerca de un hecho” (Heisenberg, 1958, pp. 20). Es así que el mero enunciar en el marco de la teoría (al definir el estado del sistema) –lo que luego puede comprobarse empíricamente– hace existir ciertas propiedades prohibiendo al mismo tiempo otras que son necesarias para la descripción clásica. Sin embargo, esas otras propiedades complementarias pueden “aparecer” en una nueva ejercitación de enunciación (dado que corresponden a elegir el estado en función de lo que se desea medir) y posterior medición (haciendo desaparecer consecutivamente las anteriormente existentes). El reconocimiento de que la interacción entre los arreglos experimentales y el sistema físico constituía una parte integral del fenómeno cuántico formó parte de las primeras y más importantes discusiones entre los físicos. La aceptación de este hecho no sólo reveló una limitación insospechada de la concepción mecánica de la naturaleza –en el sentido de que no es posible la separación en partes de un sistema tal como sucede en la mecánica clásica– sino que además forzó a prestar atención a las condiciones de observación experimental.⁹

⁷ Un espacio de Hilbert es un espacio vectorial lineal (ver cita 11) sobre escalares (generalmente el campo de los números complejos) con producto interno estrictamente positivo que es completo respecto a la métrica generada por el producto interno (producto entre vectores que resulta escalar) y es separable. Los elementos de un espacio de Hilbert son llamados vectores.

⁸ La ecuación de Schrödinger describe la evolución dinámica del vector de estado en el espacio de Hilbert, espacio donde “viven” los estados cuánticos.

⁹ Pauli en una carta a Born intentando explicar la posición realista de Einstein dice: “Einstein tiene el prejuicio filosófico de que un estado (nominado

Resumiendo: la formalización tradicional propuesta por Birkhoff y von Neumann (1936) y continuada por Piron (1976), Jauch (1973) y Aerts (1981) entre otros, da cuenta de la peculiaridad de los fenómenos cuánticos en su estructuración lógica. Siguiendo a estos autores, tanto para la mecánica clásica como para la cuántica, se describe la estructura algebraica de las proposiciones sobre las propiedades de los sistemas en términos de retículos¹⁰. La física clásica es tal que su retículo de proposiciones es además booleano y los conectivos “y” (conjunción) y “o” (disyunción) son los habituales. Se cumple por tanto la propiedad distributiva entre proposiciones enlazadas por los conectivos lo que permite establecer una valuación global al álgebra de Boole de dos elementos. Esto se traduce en que las proposiciones clásicas son compatibles entre sí y por tanto se pueden predicar en forma conjunta (es decir, pertenecen al mismo contexto). Pero las proposiciones asociadas a un sistema cuántico forman un retículo muy diferente, no distributivo y por tanto no booleano, es decir, que no cumple la propiedad distributiva ligada a los conecti-

real) puede ser definido “objetivamente” bajo cualquier circunstancia. Lo que existe en diferentes partes del espacio tiene su propia e independiente existencia, independiente de si alguna medición es o no es efectivamente realizada. Esta discusión la denomino la hipótesis del observador separado. En mi opinión hay suficiente evidencia experimental y teórica en contra de la practicabilidad de estas ideas.” Con la consolidación de la mecánica cuántica como teoría se vio que Einstein no tenía razón. (Born, 1961, pp. 55).

¹⁰ 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. Tales elementos son proposiciones y —además de un supremo e ínfimo por cada par de proposiciones— se define un elemento mínimo (respecto a los ínfimos) llamado “cero” y otro máximo (respecto a los supremos) llamado “uno”. Se satisface, además, la propiedad de ortocomplementación. Las proposiciones acerca de un sistema físico cualquiera forman un retículo ortocomplementado (notando “a’ ” la negación de “a” resulta que: $(a')' = a$) y completo (la operación que vincula dos elementos del retículo a través de una de las operaciones o de la relación de orden da como resultado otro elemento del retículo).

vos “y” y “o” sino una relación más débil llamada igualdad modular¹¹. Esto deriva en que es imposible asignar una valuación clásica a un conjunto arbitrario de proposiciones. Expresando así, en el plano de la estructura lógica de la teoría, el principio de indeterminación de Heisenberg que prohíbe la predicación simultánea de propiedades incompatibles como la velocidad y la posición de una partícula. En la predicación cuántica cambia la naturaleza y el significado de los conectivos y esto destruye tanto la imagen clásica de una partícula¹² como su consiguiente objetividad.

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 en Cassirer, 1966, pp. 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

¹¹ 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. Un espacio vectorial es un conjunto de vectores que satisfacen la propiedad de que la suma de dos vectores cualesquiera da como resultado un vector del mismo espacio. Además, si se multiplica cualquier vector por una cantidad escalar (la que sólo tiene magnitud, pero no dirección) resulta también otro vector del espacio. Se dice que el espacio vectorial es cerrado respecto a la suma vectorial y a la multiplicación por un escalar. La discusión que aquí presentamos remite sólo a espacios vectoriales de dimensión finita debido a que en ellos está contenida toda la estructura conceptual de los problemas cuánticos de un modo sencillo y no trivial. Como se ve en la predicación cuántica cambia la naturaleza y el significado de los conectivos.

¹² Un discurso acerca de resultados de medición es compatible o clásico y no debe confundirse con el discurso acerca de las propiedades del sistema que en cuántica es incompatible y por tanto del que no puede habarse clásicamente.

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. De aquello que preocupaba y a los primeros cuánticos –Planck, Bohr, Heisenberg, Einstein, Pauli, Schrödinger¹³, Dirac, De Broglie y muchos otros– ya no se habla. Y es que una vez que se logra estructurar lógicamente la teoría, esta resulta ser finalmente un algoritmo que sirve para predecir (Peres, 1993).¹⁴

¹³ “If all this damned quantum jumping were really here to stay, then I should be sorry I ever got involved with quantum theory” Frase de Schrodinger a Bohr (citado en Heisenberg, 1971, p. 12).

¹⁴ A decir verdad, a partir de T. Kuhn, esta afirmación no sólo le cabe a la mecánica cuántica, sino a toda teoría que pasa a ser concebida como una

1.2. LA FUNDAMENTACIÓN DE LA LÓGICA

Una vez aceptada la teoría su estructura matemática restringe el marco de interpretación. Por supuesto, existe siempre la opción de proponer una nueva teoría. Pero, dada la asombrosa eficacia de la actual para dar cuenta de los fenómenos y la inviabilidad de los diversos intentos por cambiarla, no hay ya consenso en la comunidad de físicos para hacerlo. Teniendo en cuenta que toda alternativa que se correspondiera con una imagen clásica del “mundo” microfísico resultaba rechazada la aceptación del formalismo standard de la mecánica cuántica implicó un cambio de la estructura lógica de la 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. En palabras de Putnam: “si buscamos preservar el significado operacional “aproximado” que las conectivas lógicas *siempre* tienen, entonces tenemos que cambiar nuestra lógica, si insistimos en la vieja, entonces *no* puede ser encontrado en absoluto

herramienta o “instrumento para resolver enigmas” (Kuhn, 1991, pp. 314). Ubicados en el contexto del pragmatismo que instala Kuhn en el campo de la filosofía de la ciencia, advertimos que a medida que un nuevo paradigma se “normaliza” y el contexto de educación logra un exitoso adiestramiento de los sujetos en el manejo de nuevos instrumentos los supuestos metafísicos se hacen invisibles, en tanto la atención se concentra sólo en el éxito a nivel de la práctica.

ningún significado operacional para las conectivas que funcione en todos los casos” (Putnam, 1969, pp. 240). 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).¹⁵

La posición que se presenta en este trabajo difiere de cualquiera de las interpretaciones históricas. Las posiciones tradicionales que a principios de siglo acapararon la atención en torno a los fundamentos de la lógica y su relación con el orden del mundo son el logicismo, el formalismo y el intuicionismo. Hay, sin embargo, una cuarta posición que inauguran los trabajos de Ludwig Wittgenstein. O mejor aún, antes que una cuarta posición que se suma a las tres existentes en la época, Wittgenstein 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 de la corriente que se denominaría formalista, propone considerar a la matemática como un sistema ideal de signos faltos de significado, sobre los que se puede operar a través de reglas formales previamente estipuladas. De este modo, Hilbert lleva a cabo una axiomatización conjunta de la matemática y la lógica, con el objeto de probar su consistencia.¹⁶ En tercer lugar, Brouwer hace

¹⁵ Distintas versiones acerca de la forma en que se produce la decoherencia cuántica intentan dar cuenta de cómo se alcanza el límite clásico: 1) Lombardi y Castagnino, M. (2004), 2) Paz y Zurek (2000).

¹⁶ Algunos autores, entre los que destacamos a Leo Corry, argumentan a favor de una impronta empirista en la filosofía de Hilbert, afirman que sólo

de la actividad intelectual implicada en el proceso de prueba el factor determinante. De este modo, el énfasis se coloca en los argumentos constructivos utilizados en los procedimientos efectivos de la matemática. (Schmitz, 1988).

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. Entre las preguntas-guía del libro encontramos sin duda aquella que interroga acerca del rol que la lógica y la matemática tienen en nuestra vida comunitaria (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 cam-

respecto a la aritmética de los “objetos ideales” propuso verlos como un sistema de signos faltos de significado, sobre los que se opera a partir de reglas meramente formales. Los elementos ideales fueron propuesto por Hilbert como un recurso para la prueba de teoremas que desbordan los métodos constructivos, evitando de esta manera utilizar argumentos que incluyan infinitos cantorianos (Corry, 2002: 27).

bio, 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”¹⁷, 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

¹⁷ La mediación lingüística entre nuestra percepción y los hechos es una constante en el pensamiento de Wittgenstein y además incide en relevantes epistemólogos contemporáneos, tal es el caso de Thomas Kuhn (1991).

pensamiento y nuestra acción, posibilitando en consecuencia la comunicación entre los hombres.

Es interesante saber *cuántas* vibraciones tiene ese tono. Pero es la aritmética la que te ha enseñado primero esa pregunta. Te ha enseñado a ver esa clase de hechos. (Wittgenstein, 1987, pp. 321)

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 de este modo nuevos espacios para la formulación de nuevas preguntas. Porque al decir de Wittgenstein, aunque este tipo de ejercicio intelectual –denominado por este autor “filosofía terapéutica”– aparenta dejar todo como está (Wittgenstein, 1988, pp. 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, pp. 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 –guiados por Wittgenstein– 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 gestualmen-

te 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. Una y otra vez, un estudiante en los inicios de su carrera reitera tal pregunta, así como un niño busca elementos concretos que le permitan sumar. Sin embargo, 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 (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.¹⁸

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 cuando avanzamos por el espacio que abre la cuántica. En este sentido, creemos que la cuántica se presenta como un límite para la lógica clásica, y para el modo

¹⁸ No se trata aquí de relegar a la mecánica cuántica en su conjunto al ámbito del silencio que impone el *Tractatus*, sino de advertir que algunas de las preguntas o cuestiones que en un momento de transición entre paradigmas se presentan como acuciantes —aquellas que definen los límites de la teoría— son precisamente las que establecen los pilares del nuevo sistema y por lo tanto no admiten definición posible. Por el contrario, y en función del carácter constructivo que tiene el lenguaje, nos enfrentan con reglas gramaticales que se constituyen en las instancias determinantes tanto de la nueva propuesta científica como del mundo que a ella le corresponde.

de ver y obrar que esta lógica instituye. Porque según afirma Wittgenstein no hay en el mundo correlato de las reglas a la manera de “hechos” empíricos. Lo que corresponde en el mundo a las reglas son prácticas compartidas en el marco de las diferentes formas de vida. En este sentido, el mundo que de la cuántica resulta no puede ser comparado con el de la física clásica, pero lo más importante es que no tiene sentido hacerlo, porque toda referencia a él nos ubica en otro lenguaje que abre para nosotros un abanico de acciones posibles, diversas e imposibles con las anteriores.

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 wittgensteiniana 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, y que corresponde a algunas posiciones no reduccionistas en ciencias sociales. 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.¹⁹ 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

¹⁹ “Pues la matemática es, ciertamente, un fenómeno antropológico” (Wittgenstein, 1987: 350).

realizar nuestras descripciones del mundo (Wittgenstein, 1979, pp. 187 y 188).

En función de lo presentado hasta el momento, consideramos que es hora de resignificar la pregunta por la clase de mundo que describe la mecánica cuántica. Desde la primera perspectiva (respetando lo enunciado en 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? (Wittgenstein, 1987, pp.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 propia²⁰– 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.

Me decido a mirar *así* las cosas. También, por lo tanto, a actuar *así* y *así*.
(Wittgenstein, 1987, p. 260)

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.

Sin embargo, si orientados por el análisis de la cuántica y de la mano de los desarrollos de Ludwig Wittgenstein logramos advertir que la ciencia es una práctica social orientada por fines extracientíficos y que las leyes que articulan sus teorías no sólo carecen de fundamento teórico sino que se presentan como prescripciones para accionar en el marco de

²⁰ “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).

formas de vida comunitaria, entonces se hace manifiesta la necesidad de reubicar la epistemología en el tradicional esquema filosófico.

BIBLIOGRAFÍA

- AERTS, D. “Description of compound systems and logical interaction of physical systems”. In: *Current Issues in Quantum Logic*. New York: Plenum Pub. Co., 1981.
- AUNE, B. *Methaphysics. The Elements*. Minneapolis: University of Minnesota Press, 1985.
- BOHR, N. “Can Quantum Mechanical Description of Physical Reality be Considered Complete?”. *Physical Review*, pp. 48-53, 1935.
- BORN, M. *The Born-Einstein Letters*. Londres: Walker and Co., 1961.
- BIRCHOFF, G., y VON NEUMANN, J. “The logic of quantum mechanics”. *Ann Math.*, pp. 37-67, 823, 1936.
- CASSIRER, E. *Determinism and Indeterminism in Modern Physics*. New Haven: Yale University Press, 1936. Transl. Benefey, O.T., 1956.
- CORRY, L. “David Hilbert y su filosofía empirista de la geometría”. *Boletín de la Asociación Matemática Venezolana*, IX, 1, pp. 27-43, 2002.
- DIRAC, P. A. M. *The Principle of Quantum Mechanics*. Oxford: Oxford University Press, 1967.
- FEYNMAN, R. P., LEIGHTON, R. B., MATTHEWS, S. *The Feynman Lectures on Physics*. London: Addison-Wesley Publishing Company, 1967.
- FRIEDMAN, J. et al. “Detection of a Schrodinger’s Cat State in an rf-SQUID”. *Nature*, 406, 43, 2000.
- HEISENBERG, W. *Physics and Philosophy*. Londres: Addison Wesley, 1958.

- HEISENBERG, W. *Physics and Beyond*. Londres: Addison Wesley, 1919.
- JAUCH, J.M., *Foundations of Quantum Mechanics*. Londres: Addison Wesley, 1973.
- KRIPKE, S. *Wittgenstein: reglas y lenguaje privado*. México: UNAM, 1989.
- KUHN, T. *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. México: Fondo de Cultura Económica, 1991.
- HAACK, S. *Lógicas Divergentes*. Madrid: Paraninfo, 1979.
- LOMBARDI, O., CASTAGNINO, M. "Self-Induced Decoherence: A New Approach". In: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*. Elsevier Science, 35, 1, pp. 73-107, 2004.
- MITTELSTAEDT, P. *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*. Cambridge: Cambridge University Press, 1988.
- PAZ, J. P., ZUREK, W. H., "Environment-Induced Decoherence and the Transition from Quantum to Classical". *Los Alamos National Laboratory*, quant-ph/0010011, 2000.
- PERES, A. *Quantum Theory: Concepts and Methods*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.
- PIRON, C. *Foundations of Quantum Physics*. Merlo Park: W.A. Benjamin Inc., 1976.
- PUTNAM, H. "Is Logic Empirical?" In: Cohen, R.S. y Wartofsky (eds). *Boston Studies in the Philosophy of Science*, 240, 1969.
- SCHMITZ, F. *Wittgenstein, la Philosophie et les Mathématiques*. Paris: PUF, 1988.
- SCHRÖDINGER, E. "The Present Situation in Quantum Mechanics". *Proceedings American Society*, 124, pp. 323-338, 1980.

- SHEPELYANSKY, D., L. “Schrodinger Cat Animated to a Quantum Computer”. *Phys. Rev. A*, 66, pp. 543-560, 2002.
- TORRETTI, R. “Realismo Científico y Ciencia Real”. *THEORIA*, Segunda época, 11, 26, pp. 29-43, 1966.
- WHITEHEAD, A. N, RUSSELL, B. *Principia Mathematica*. Cambridge: Cambridge University Press, 1910.
- WITTGENSTEIN, L. *Tractatus Logico-Philosophicus*. Madrid: Alianza, 1979.
- WITTGENSTEIN, L. *Observaciones a los Fundamentos de la Matemática*. Madrid: Alianza, 1988.
- WITTGENSTEIN, L. *Investigaciones Filosóficas*. Barcelona: Crítica, 1988.