

## El problema de la representación en la mecánica cuántica

### Un análisis sobre la noción de posibilidad cuántica

Christian de Ronde  
Departamento de Filosofía Dr A. Korn, Universidad de Buenos Aires,  
CONICET, Argentina,  
Center Leo Apostel for Interdisciplinary Studies y Foundations of the Exact  
Sciences, Vrije Universiteit Brussel, Bélgica.  
cderonde@gmail.com

### I. Sobre la noción de 'problema'

En (de Ronde, 2011) nos ocupamos de discutir y analizar los denominados 'problemas interpretativos de la mecánica cuántica'; problemas que se encuentran desperdigados en una vastísima literatura que no ha dejado de crecer a lo largo de más de un siglo, luego del nacimiento de la antigua teoría atómica. Para comprender el sentido y fundamentación de estos numerosos problemas debemos necesariamente adentrarnos también en los múltiples sentidos y fundamentaciones de lo que llamamos 'física'. Con tal objetivo, hemos distinguido dos grandes líneas o derivas bajo las cuales puede encontrarse el quehacer de una teoría física. El primero de estos caminos encuentra sobre todo la necesidad -si bien desde diferentes perspectivas y estrategias- de 'justificar la experiencia del mundo clásico' y el denominado 'sentido común'. El segundo camino entiende la física, no sólo como el desarrollo de nuevos modos de concebir el mundo, sino también como una disciplina capaz de crear nuevas formas de experiencia. Mientras el primer recorrido introduce la respuesta al problema en el propio origen, transformando el mundo introducido en la *justificación adecuada de lo ya conocido*, el segundo recorrido presupone asumir como punto de partida el total desconocimiento de los múltiples modos en que el mundo puede ser entendido y representado. En el marco de este análisis, de modo más específico, podemos dividir las estrategias interpretativas de la mecánica cuántica en dos grupos (de Ronde, 2010); en primer lugar, aquellas interpretaciones que presuponen un cierto conjunto de 'principios metafísicos clásicos' y avanzan a partir de ellos buscando nuevas formulaciones de la estructura matemática de la teoría -acorde con estos principios clásicos previamente establecidos- y en segundo lugar aquellas interpretaciones que, partiendo del formalismo ortodoxo de la teoría y asumiéndolo como válido, buscan avanzar sobre nuevas representaciones, nuevos conceptos que permitan articular y entender de qué habla la teoría cuántica.

Si bien la literatura se ha encargado de discutir un conjunto de problemas fundados en la primer estrategia -aquella que busca justificar un conjunto de presupuestos metafísicos clásicos-, siguiendo la segunda derivada hemos buscado reconfigurar e invertir el trayecto de los problemas ortodoxos discutidos comúnmente en la literatura (de Ronde, 2011). En este trabajo nos interesa considerar el sentido a partir del cual el concepto de 'posibilidad'

### II. Representación en la física cuántica

aparece desarrollado en las diversas líneas interpretativas de la mecánica cuántica. La noción de 'representación' juega aquí un papel central poniendo en relieve una dificultad inherente al lenguaje y al modo en que se da la relación entre las palabras y las cosas. Nos interesa remarcar el hecho de que cada una de estas líneas presupone un tipo de solución determinado, pero sobre el cual descansa una precepción de las nociones discutidas.

La noción de representación ha ocupado un lugar singular en el pensamiento occidental a partir de Kant, quien introdujo en su arquitectura la relación siempre controvertida entre sujeto y objeto, entre lo que aparece, lo que se presenta y su sentido o representación. Recientemente el concepto de representación ha sido intensamente discutido en la filosofía de la ciencia en relación con los modelos con los fenómenos es la de representación. La cuestión de elucidar esta relación todavía permanece abierta. Existe hoy un renovado interés en el problema de la representación científica en general y de la representación de la mecánica cuántica en particular (van Fraassen, 1991; 2008 y Suárez, 2009). Sin embargo, aparecen también serios inconvenientes, uno de los más importantes refiere a la falta de un sentido técnico y uniforme del término 'representación' -así como también de su problemática- dentro de la comunidad científica. Como señala Suárez (2003: 225): "Many philosophers of science would agree that a primary aim of science is to represent the world. [...] What those philosophers understand by 'represent' is however a lot less clear. No account of representation in science is well established." Tomando en cuenta esta torre de Babel de problemas inconexos nos resulta de gran importancia dar cuenta explícita del problema que nos convoca.

Consideramos el problema de la representación como aquel que pone en evidencia la distancia entre las palabras (la representación) y las cosas (lo representado). En las teorías científicas este problema se expresa en la tensión que parece sostener la relación entre teoría y mundo, entre experiencias matemáticas y leyes universales, entre modelos formales y experiencias actuales. Evidentemente la justificación de esta relación siempre problemática debe analizarse cuidadosamente en términos filosóficos, puesto que su articulación descansa también en el lenguaje, un lenguaje referencial que parece presuponer al mundo.

El positivismo inauguró una crítica -recurrente para el siglo XX- al pensamiento metafísico, pensamiento del fundamento, pensamiento de la verdad última. Sin embargo, su proyecto de articular la relación empírico-formal a partir de la distinción entre *términos técnicos* y *términos empíricos*, no logró cumplir la promesa de justificar la independencia de dichos términos. La razón fundamental parecería ser que las observaciones actuales -o términos empíricos- no pueden ser siquiera considerados sin tomar en cuenta una estructura técnica previa. Como hubiera señalado el filósofo de Königsberg, uno no encuentra *identidades* en el mundo; muy por el contrario, la *identidad* aparece como un principio metafísico previo que permite articular la

experiencia. De este modo, el *hic et nunc* parece filtrarse entre dos perspectivas aparentemente contradictorias, bien como elemento creado por nuestras teorías y nuestro lenguaje, nuestras representaciones; bien como elemento *descubierto* a partir de la sensibilidad que se expone ante aquello que **nos presenta**.

Más allá de los problemas de la física clásica y su referencia al mundo, la mecánica cuántica nos introduce aún mayores inconvenientes, puesto que **no es desarticulable** sino que también parece horadar los fundamentos mismos de lo representable. Justo en el límite de lo decible, de lo pensable, la cuántica **parece** forzarnos no sólo a reconsiderar el lenguaje clásico, sino también a abandonarlo. Mientras que el problema de la representación en la física clásica parece remitirse a la justificación de la relación entre lo que se presenta y lo que se representa, la mecánica cuántica introduce de modo explícito la falta de un lenguaje apropiado para referirse tanto al formalismo como a los denominados fenómenos cuánticos. Para decirlo de un modo concreto: **no sabemos de que habla la teoría cuántica**. No contamos con un lenguaje ni con un consenso en la comunidad científica acerca de aquello que representa la teoría.

En el esquema de la física clásica, es posible considerar objetos materiales en el espacio-tiempo que respetan una evolución causal donde, **independientemente**, cada sistema físico puede ser descrito a partir de sus **propiedades actuales**. El conjunto de los valores de las propiedades que puede ponerse en relación con un punto en el espacio de las fases (que es el objeto matemático en el que se representan los estados físicos del sistema). La evolución del estado del sistema está representada por una curva en el espacio de las fases que determina cuáles son las propiedades **actuales** y cuáles las **potenciales**. Sin embargo, puesto que la descripción física se encuentra completamente determinada por el conjunto de propiedades actuales, la posibilidad o potencialidad, en términos ontológicos, ocupa un lugar accesorio o frente de realidad ontológica. En física clásica lo real es lo actual. Ya sea desde una perspectiva realista en donde la actualidad ocupa el lugar de lo existente en tanto **determinado, no contradictorio e idéntico**: ya sea desde una perspectiva empirista en donde lo actual remite a un *hic et nunc* pre-crítico y autoevidente. El problema de la representación se remite entonces a la justificación filosófica que puede brindarse a la relación entre la representación y el mundo.

En la mecánica cuántica, por el contrario, la descripción elemental en términos de un **estado de cosas actual** se vuelve inviable (de Ronde, 2011). Por una parte, dentro del formalismo ortodoxo, resulta problemático determinar cuáles son aquellas propiedades que definen unívocamente al estado del sistema (Kochen/ Specker, 1967); por otra parte, el ámbito de lo posible parece exceder la descripción por los elementos actuales del sistema dando lugar a un ámbito de existencia ontológicamente separado de la actualidad -tal como puede ser entendida por la física clásica-. Es el límite explícito expuesto por el formalismo ortodoxo de la teoría el que nos enfrenta con el sentido ontológico de la noción de **posibilidad cuántica**. Evidentemente, pensar más allá de un **estado de cosas actual** propone un enfrentamiento con nuestra concepción clásica del mundo, un salto conceptual lleno de peligros.

### III. Posibilidad cuántica: entre la actualidad y la causalidad

En la física clásica, todo sistema puede ser descrito a través de sus **propiedades actuales**: tomando a la 'actualidad' como expresando el modo de ser **preexistente** de las propiedades independientemente de la observación -el prefijo 'pre' refiere en este caso a la existencia previa e independientemente de la medición. Como hemos señalado antes, las propiedades **potenciales** o posibles son consideradas como lugares al que el sistema puede llegar en un instante futuro de tiempo. Como señala Dieks:

En la física clásica la descripción de un sistema físico (un punto en el espacio de fases) refleja sólo lo actual, y nada que pueda ser considerado posible. Es verdad que en algunas ocasiones los estados que contienen probabilidades son considerados en la física clásica: pensamos por ejemplo en las distribuciones de probabilidades en tales casos estadísticas. Pero la ocurrencia de las posibilidades en tales estados estadísticos no se corresponde con las características del sistema actual (como lo es el caso de las superposiciones mecánico cuánticas), sino que cuantifican nuestro grado de ignorancia respecto de las características actuales. (Dieks, 2010: 125)

Muy por el contrario, la noción de 'posibilidad' en el contexto de la mecánica cuántica presenta severos inconvenientes en cuanto buscamos interpretar su significado y sentido en términos de la actualidad. Ya desde la interpretación de onda -planteada en el formalismo de Erwin Schrödinger- por parte de Max Born en 1926 nos encontramos con límites para dar cuenta de una idea de 'posibilidad' coherente con el formalismo de la teoría. Un año más tarde, el desarrollo del **principio de indeterminación** por parte de Werner Heisenberg (1927) demostró las dificultades en que se encuentra inmerso el significado de lo posible en la teoría. El propio Heisenberg (1958) señalaría luego que el

concepto de onda de probabilidad era algo enteramente nuevo en la física teórica desde Newton. Probabilidad, en matemáticas o en mecánica estadística, significa una afirmación acerca de nuestro grado de conocimiento de la situación real. Al arrojar los dados, no conocemos los detalles del movimiento de las manos que determinan la caída de aquellos, y decimos, por lo tanto, que la probabilidad de obtener un número determinado es de uno en seis. La onda de probabilidad [...] sin embargo, significaba una tendencia hacia algo. Era una versión cuantitativa del viejo concepto de potencia de la filosofía de Aristóteles. Introduce algo situado a mitad de camino entre la idea de un acontecimiento y el acontecimiento real, una rara clase de realidad física a igual distancia de la posibilidad y la realidad.

La mecánica clásica nos dice vía la ecuación de movimiento cómo cambia en el tiempo el estado de un sistema y con él los valores de sus propiedades. Estas propiedades pueden pensarse independientemente de una "ordenación" en la manera de considerarlas y pueden ser interpretadas como poseyendo valores definidos independientes de la observación física (son

funciones que conmutan). En el caso de la mecánica cuántica, las magnitudes físicas están representadas por objetos matemáticos (operadores sobre el espacio de estados) para los que el orden en que son consideradas es relevante (son operadores que no conmutan). Este hecho matemático tiene consecuencias interpretacionales en extremo problemáticas puesto que debido a él no todas son compatibles y resulta difícil entonces sostener que las magnitudes cuánticas *preexisten* independientemente de la elección del conjunto compatible de propiedades a ser observadas -la elección del contexto. Con el objetivo de restringir el discurso a subconjuntos de magnitudes mutuamente compatibles se eligen entonces diferentes Conjuntos Completos de Observables que Conmutan (CCOC). Cada elección de una representación matemática particular (dada por un CCOC) determina un modo en el estado del sistema físico (una base) puede ser expresado. De este modo, eligiendo diferentes CCOCs, el estado puede escribirse como diferentes sumas de estados (diferentes combinaciones lineales), las llamadas superposiciones cuánticas, cada una de ellas ligada a un conjunto de propiedades compatibles. Sin embargo, esos conjuntos relacionados a las distintas formas de expresar el estado del sistema no son compatibles entre sí. Esto trae aparejado que, aparte de la *posibilidad* que encontramos en la física clásica, parece necesario considerar en el caso cuántico un ámbito diferente de existencia, un ámbito que da cuenta en cada instante de tiempo de propiedades mutuamente contradictorias, que interactúan pero que no pueden considerarse como actuales o preexistentes.

La noción de *posibilidad* permanece aún hoy como uno de los temas centrales en la filosofía de la ciencia. Lewis (1986), van Fraassen (1980), Plantinga (2003) y muchos otros han discutido acerca del lugar que ocupa la noción de posibilidad se encuentra intrínsecamente ligada a las posiciones metafísicas y anti-metafísicas propias de las diferentes corrientes interpretativas (de Ronde, 2010). Cada una de estas líneas determina una perspectiva específica respecto al entendimiento que se tiene de la *posibilidad cuántica*. A modo de ejemplo de los múltiples sentidos en que lo modal es entendido podemos señalar...

1. *La posibilidad como estructura algorítmica*: En el contexto de la interpretación modal van Fraassen (1980; 1981; 1991) y Dieks (2010) se sostiene una noción empirista o humeana de la posibilidad. Si bien Dieks propuso originalmente una interpretación realista de la mecánica cuántica (Dieks, 1988) en los últimos años su posición ha virado hacia perspectivas más cercanas a las de van Fraassen (Dieks, 2010). En este caso, se vuelve sobre la idea empirista, sostenida por van Fraassen según la cual: *las modalidades se encuentran en nuestras teorías, no en el mundo.*

1 Para una discusión pertinente ver: da Costa & de Ronde (2012).  
 2 Para una discusión más detallada ver: de Ronde (2011).  
 3 Ser un empirista es sostener la creencia de que no existe nada más allá de lo actual, de los fenómenos observables. Es también reconocer que no existe ninguna modalidad objetiva en la naturaleza. Desarrollar una posición empirista de la ciencia es participar de la búsqueda de la verdad sólo respecto del mundo empírico, de lo que es actual y observable" (Van Fraassen, 1980: 202-3).

2. *La posibilidad como posibilidad clásica*: El caso de la interpretación de Bohm, dentro de lo que es considerado el programa de variables ocultas, aparece como un caso paradigmático que busca "restaurar una visión clásica respecto de lo que hay". La propuesta de Bohm (1952) de discutir en términos de un estado de cosas actual se sostiene a partir de su reformulación de la mecánica cuántica y la interpretación de la función de onda en términos análogos a los de un campo clásico. Al precio de transformar el formalismo, las partículas recuperan en el esquema bohmiano trayectorias y posiciones bien definidas, mientras que la evolución de las mismas tan sólo depende del nuevo campo cuántico. En este esquema se recupera entonces una noción de posibilidad propia de la física clásica. El costo de recuperar una noción clásica de posibilidad es perder la *localidad* de los eventos y carecer de un interpretación del espacio de configuración.

3. *La posibilidad à la Lewis*: La interpretación de muchos mundos (IMM) sostiene à la Lewis la existencia ontológica de una multiplicidad de "mundos" (Wallace, 2002; Domenech, Freytes y de Ronde, 2009). La IMM (Dewitt & Graham, 1973) es considerada como una conclusión directa de la primera propuesta de Everett en términos de estados relativos (Everett, 1957). La idea central de la IMM es que la superposición cuántica representa una colección de mundos, en cada uno de los cuales, un único valor del observable es actualizado. Los valores de las propiedades correspondientes a cada sumando en la superposición es actual en su propio mundo; el valor actual que vemos en *nuestro* mundo no es el único valor que se actualiza sino que, por el contrario, una multiplicidad de actualizaciones se desarrollan en cada uno de los mundos.

4. *La posibilidad como potencialidad o propensidad*: Interpretaciones que, en términos de un proyecto eminentemente ontológico, buscan recuperar la noción de *potencialidad* (Heisenberg, 1958; Piron, 1976; Aerts, 2010), o de *propensidad* (Margenau, 1950; Popper, 1982; Cartwright, 1989; Suárez, 2009; Dorato y Esfeld, 2010) para comprender la mecánica cuántica. En estos casos parece recobrase el esquema aristotélico hilemórfico según el cual existe un pasaje entre el ámbito potencial y el ámbito actual. La noción central aquí es la de *proceso*; un tipo de evolución específica que completa y vuelve más perfecta la potencialidad al actualizarla.

Volviendo sobre lo mencionado anteriormente, debemos remarcar que si bien todas estas alternativas parecen recorrer caminos diferentes en torno al sentido que priman a la posibilidad cuántica, existe sin embargo un proyecto dentro del pensamiento metafísico- que unifica y organiza las primeras líneas de investigación: *la búsqueda de reinscribir de un modo u otro a la posibilidad cuántica dentro de la metafísica de la física clásica*. O en otras palabras, *reubicar el modo de ser actual como fundamento último de lo real*. De este modo, en 1., se considera lo actual en tanto *hic et nunc*, resultado experimental no representado, evaluando la representabilidad de lo actual, tomando lo 'actualmente observable' como autoevidente y carente de una

origen teórico. Por otra parte, desde una perspectiva realista en donde la actualidad ocupa el lugar de lo existente en tanto determinado, no contradicorio e idéntico, 2. y 3. reintroducen un esquema en donde se recuperan tanto la actualidad como la posibilidad propias de la física clásica. Aquí la causalidad eficiente articula la concatenación de eventos (determinismo). Finalmente, el cuarto camino que hemos señalado parece destinado a reintroducir en la teoría de los átomos no ya la física newtoniana, sino la física aristotélica en tanto fundamento de la posibilidad cuántica. Es en 4., en que la causalidad final-causalidad que el propio Aristóteles se había encargado de utilizar en el esquema hilemórfico y que Newton había logrado expulsar de la física clásica - es recuperada del olvido en de la física cuántica (Simondon, 2005). Como señala Sonja Smets (2005: 24): "la transición del ser potencial al actual debe ser ubicada dentro del contexto de la teoría de movimiento y causalidad"

#### IV, Potencialidad ontológica: más allá de la teleología

Inaugurando la tradición hilemórfica, Aristóteles desarrolló un esquema metafísico en el que, a través de las nociones de *actitud* y *potencialidad*, fue capaz de articular una solución al problema del movimiento que había quedado planteado en la filosofía presocrática. Dentro del ámbito de la potencia, Aristóteles distinguió entre *potencialidad irracional* y *potencialidad racional*. La potencialidad irracional da cuenta del proceso a través del cual la *materia deviene forma*; siendo la materia de una substancia aquello de lo que está compuesta, y la forma, la manera en que eso se une para que el todo que la constituye pueda desarrollar sus funciones características (Aristóteles, 2000: 1050a17-1050a23). Esta noción permite considerar la transformación de una semilla en un árbol, o de un niño en un hombre. La potencialidad racional por su parte, se encuentra caracterizada por Aristóteles en relación al problema de poseer una facultad (1046b5-1046b24). ¿Qué significa cuando digo: "puedo"? Mientras en la potencialidad irracional la actualización resulta su *telos* y fin último, y el libro *Θ* de la *Metafísica* puede ser considerada como un ámbito independiente de la actualidad. La potencialidad racional, como señala Aristóteles, es el lugar, el topos, en que los contrarios se encuentran puesto que "todas las potencias racionales, ellas mismas, se extienden a ambos contrarios" (1046b5-1046b10). Aristóteles explica este carácter *para-consistente* remarcando que una capacidad se encuentra siempre ligada a la *contradicción*, su *ser* al *no ser*. La contradicción del ser y el no ser se encuentra presente en la potencialidad racional disolviéndose tan sólo cuando, considerando el ámbito de lo actual, uno de los términos resulta forzado a efectuarse. Criticando a los megáricos que "denifican potencia y acto, con lo que tratan de suprimir algo de no escasa importancia", Aristóteles admite que "cabe que algo pueda ser, pero no sea, y pueda no ser, pero sea. E igual en las

"Al respecto ver Alan Musgrave: "Realism versus Constructive Empiricism" (cf. Curd/ Cover, 1998: 1088-113).

demás categorías: que siendo capaz de andar, no anda, y que no esté andando, aun siendo capaz de caminar" (1047a20-1047a25). Volviendo sobre la teoría cuántica, pese a que el desarrollo propuesto por Heisenberg retoma la noción de potencia en tanto modo de existencia, sus intentos -al igual que los de Aristóteles- se han encontrado siempre con el límite de la actualidad -considerada en tanto una 'realidad superior'-, más perfecta y completa que aquella determinada por el ámbito potencial. Esta relación subsistirá de la potencialidad respecto de la actualidad se encuentra contenida ya en el esquema teleológico de la *causalidad final*. Autores como Henry Margenau, Karl Popper, Constantín Piron, Diederik Aerts, Mauricio Suárez, Vassilios Karakostas y Mauro Dorato han desarrollado diversos esquemas para dar cuenta de las propiedades cuánticas como 'potencialidades', 'propensidades' o 'latencias'. Hemos sostenido que estas líneas interpretativas -implícita o explícitamente- se han encargado, afirmándose en la noción de *potencialidad irracional*, de restringir la potencia a la noción de actual. Entendida como *proceso*, como *posibilidad lógica*, la potencialidad irracional no permite un verdadero desarrollo ontológico independiente de lo actual, y termina apareciendo siempre como accesorio a aquello que es considerado real -la 'actualidad'-. Subvirtiendo estos elementos y basándonos en la noción aristotélica de *potencialidad racional*, creemos que es posible desarrollar un concepto, que hemos denominado *potencialidad ontológica* (cf. de Ronde, 2005, 2011, 2012), capaz de brindar un marco conceptual adecuado para interpretar el formalismo cuántico más allá e independientemente de la actualidad. La importancia de reconsiderar estos conceptos radica en que, como señalara Max Planck: "La historia de la física no es sólo una secuencia de descubrimientos experimentales y observaciones, seguidas por su descripción matemática; es también la historia de los conceptos. Para una comprensión de los fenómenos la primera condición es la introducción de conceptos adecuados. Sólo con la ayuda de conceptos correctos es que podemos saber que es lo que ha sido observado". Creemos que repensar el modo de ser potencial no sólo nos enfrenta con los límites del pensamiento clásico sino que también puede permitirnos aborotar, de un modo original, los aspectos fenoménicos de la mecánica cuántica. Esto no significa necesariamente evadir el ámbito actual, sino más bien entender la relación entre lo posible y lo actual de un modo diferente. Creemos que el ámbito de lo potencial puede permitir entonces la consideración y el desarrollo de conceptos que den cuenta del formalismo cuántico en forma coherente. Si nos encontramos en lo cierto, estos mismos conceptos podrían habilitarnos a pensar *nuevas experiencias* aun vedadas por consideraciones eminentemente clásicas. La noción de causalidad final y el modo en que articula la relación potencialidad-actualidad, ocupa en este sentido un lugar central que debe ser reconsiderado y sobre el cual pensamos avanzar en futuros trabajos.