

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



Interpretación Perspectival de la Mecánica Cuántica y Descripciones Complementarias

*Christian de Ronde**

1. Introducción

La interpretación modal de la mecánica cuántica ha surgido a partir del estudio llevado a cabo por Bas van Fraassen (1973) de las lógicas modales como una solución al problema de la medición¹. Las interpretaciones modales son interpretaciones que buscan realizar, sin cambiar el formalismo ortodoxo cuántico, una asignación consistente de propiedades a los sistemas de forma tal que las propiedades asignadas se encuentren dadas a partir de distribución conjunta de probabilidades clásica (subálgebra booleana). La interpretación trasciende de este modo el mero instrumentalismo y la posibilidad de relacionar únicamente resultados experimentales. Suministra a la teoría cuántica de una objetivación realista de las propiedades del sistema a través de una *regla interpretacional* que provee un pasaje entre las subestructuras empíricas y el formalismo matemático de la mecánica cuántica. El desarrollo modal ha llevado a diferentes versiones², entre ellas: Kochen (1985) - Dieks (1988) y Dieks - Vermaas (1995) centran la asignación de propiedades mediante una correlación unívoca entre sistema y aparato de medición³.

Si bien esta asignación de propiedades resulta aparentemente consistente han surgido en los últimos años varios teoremas No Go⁴ que demuestran la imposibilidad de obtener una distribución conjunta de probabilidades clásica para propiedades asignadas a sistemas disjuntos. Estos teoremas han abierto las puertas a una ontología relacional desarrollada a partir de una nueva versión perspectival de la interpretación modal de la mecánica cuántica que busca resolver la incompatibilidad en la asignación de propiedades (Bene y Dieks 2001).

2. Interpretación Perspectival de la Mecánica Cuántica

A partir del problema de la contextualidad evidenciado en varios teoremas No Go para interpretaciones modales, la idea de *propiedades monádicas* en la interpretación modal ha debido ser abandonada. En el nuevo enfoque perspectival sólo las *propiedades relacionales*, dadas con respecto a una referencia, serán tomadas en cuenta. Esta posición relacional nos permitiría, por ejemplo, describir un objeto como localizado desde cierta perspectiva; pero delocalizado desde una perspectiva diferente. Sin embargo diferentes descripciones, a partir de diferentes perspectivas resultarán igualmente objetivas y todas corresponderán a la realidad física.

La precondition para determinar el estado de un sistema se encuentra dada por la especificación de un sistema de "*referencia*" respecto del cual se define el estado. La evolución del estado del Universo es causal en el tiempo y la teoría específica sólo las probabilidades de las varias posibilidades de actualización (como es convencional en la interpretación modal) siendo en este sentido una interpretación indeterminista.

* CLEA. FUND. Brussels Free University. Instituto de Astronomía y Física del Espacio. Universidad de Buenos Aires. cderonde@vub.ac.be

Epistemología e Historia de la Ciencia, Volumen 10 (2004), N° 10

Ahora bien, cuando mezclamos propiedades pertenecientes a diferentes perspectivas, nos encontramos con varios teoremas No Go que demuestran la inconsistencia de esta idea. Cuando tomamos en cuenta sólo propiedades relacionales, únicamente tiene sentido hablar de probabilidades conjuntas de los sistemas definidos desde la misma perspectiva. Debido a esto, no definimos probabilidades si los sistemas no son disjuntos.

3. Entre el Holismo y el Reduccionismo

Adoptaré un enfoque en el que la ontología sólo aparece a partir de la síntesis entre el esquema conceptual y el sustrato. Diferentes esquemas conceptuales definen diferentes ontologías; de este modo, diferentes descripciones objetivas de la realidad pueden coexistir al punto que cada una de ellas 'recorta' su propia ontología del sustrato. Es importante acentuar la idea de que diferentes niveles de descripción definen ontologías equivalentemente *objetivas*, y, de este modo, es posible construir una interpretación consistente. Describiré los niveles 'holístico' por un lado y 'reduccionista' por el otro.

La '*perspectiva*' se encontrará en el plano holista y resultará de su corte respecto del resto del Universo. Será representada por una superposición de estados posibles de los cuales sólo uno se actualizará y al cual se denominará '*perspectiva actual*'. Este corte del Universo define explícitamente nuestras '*posibilidades*' para observar el sistema; i.e. la perspectiva desde la cual el sistema será '*observado*'. Esquemáticamente puede ser resumido en la siguiente figura:

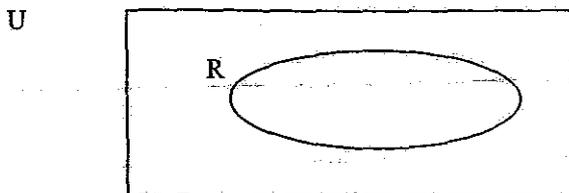


Figura 1: determinación de una perspectiva definitiva

En segundo lugar el sistema de interés es separado del resto de la *perspectiva actual* y aparece un *contexto* definido. Este corte de la perspectiva, respecto de que es lo que vamos a observar, define en forma objetiva la adscripción nuclear de propiedades del sistema con respecto a la perspectiva actual.

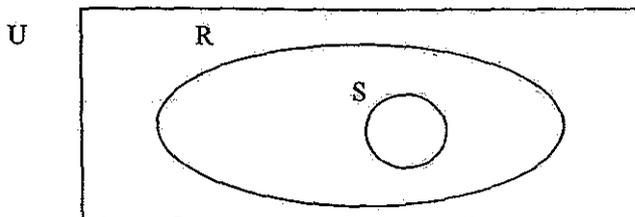


Figura 2: determinación de un contexto definitivo

Desde este contexto, sólo un conjunto de propiedades puede resultar actualizado en el *nivel reduccionista*. Sin embargo, la misma perspectiva podría ser factorizada para formar diferentes contextos en el *nivel holista*:

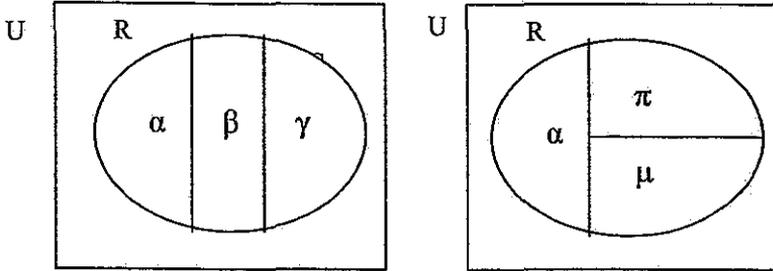


Figura 3: la misma perspectiva con diferentes contextos

Debido a que un contexto define un grupo de subsistemas disjuntos es posible definir una distribución conjunta de probabilidades clásica para las propiedades pertenecientes a uno y el mismo contexto, en este caso, $\alpha\beta\gamma$ ó $\alpha\mu\pi$. Sin embargo, cuando mezclamos las propiedades pertenecientes a diferentes contextos; i.e. tratamos de formar una probabilidad conjunta de distribución de las propiedades $\alpha\beta\pi$ ó $\alpha\gamma\mu$, los teoremas No Go de Vermaas (1997) muestran inconsistencias.

La definición del contexto es el *corte final de Heisenberg* que determina la transición desde el nivel de propiedades holísticas al reduccionista. Esto no está dado *a priori* sino que se encuentra determinado por el contexto de inquisición: nuestra decisión de qué resulta relevante y qué irrelevante. Este corte también determina una pérdida de información, pero sin tal selección no existe la ciencia. Como Primas (1994, p. 208) acentúa:

nuestro deliberado desinterés por ciertas correlaciones [.] es un compromiso intelectual que rompe la unidad holística de la naturaleza y lleva a la emergencia de los fenómenos observables que no se manifiestan en un nivel más fundamental independiente del contexto.

Existen entonces, dos niveles de descripción, el holista y el reduccionista. Un rasgo interesante que aparece en este enfoque es que una *perspectiva* dada puede ser 'cortada' en infinitud de formas, cada una de ellas determina una relación definitiva entre los subsistemas definidos. Esto se encuentra en cercana analogía a la visión original de Everett (1957) en la cual los sistemas tienen estados solo relativos a otros sistemas.

Cada vez que elegimos cambiar el contexto *emergen* un conjunto completo de 'nuevas' propiedades. El sistema es completamente holístico y no puede ser descompuesto en partes elementales. Más bien, estas *propiedades relacionales* y el todo del cual 'devienen' debería ser considerada la característica esencial de la mecánica cuántica, la de ser una *teoría holista*. Las propiedades del sistema dependen en los cortes que realizamos de la perspectiva; las propiedades que surgen de un corte no serán las mismas que aquellas propiedades dadas respecto de un corte diferente, o, para decirlo de otro modo, el sistema que elegimos estudiar será definido a partir del corte que realizamos de la perspectiva.

Surge ahora la pregunta respecto de la objetividad de las propiedades asignadas a los subsistemas pertenecientes a una dada perspectiva. El corte de un sistema puede ser visto como la observación de diferentes subsistemas disjuntos desde la misma perspectiva. Se puede mostrar que si elegimos distintos contextos, los subsistemas pertenecientes a estos diferentes cortes no determinarán propiedades conjuntamente predicables, por lo cual los teoremas No Go amenazan. De cualquier modo, si comparamos las propiedades relacionadas a un subsistema α , que es parte de un contexto definido por los subsistemas $\alpha\beta\gamma$, y el mismo subsistema α perteneciente a otro contexto diferente $\alpha\eta\mu$, como se muestra en la figura 3, ambos sistemas se relacionarán de igual forma respecto de la perspectiva de la cual es 'observada'. Esto es cierto puesto que para calcular ambas propiedades; i.e. las correlaciones de α pertenecientes a una perspectiva en el contexto $\alpha\beta\gamma$ y la propiedad de α perteneciente a la misma perspectiva en otro contexto diferente $\alpha\eta\mu$, debemos dejar de lado los grados de libertad restantes en la perspectiva, es decir, no importa cómo sea cortado el resto.

Existe un rasgo holístico en cómo decidimos observar los sistemas; de cualquier modo, la descripción es completamente objetiva en el sentido que el sistema α es observado en la misma forma desde los dos contextos. Esto resulta importante cuando discutimos la objetividad y existencia de tales propiedades. En esta instancia las propiedades 'potenciales' del sistema todavía permanecen en el nivel holista; sin embargo podemos hablar de cada sistema poseyendo propiedades con las probabilidades definidas en cada posible contexto.

El estado holista dado por el enfoque perspectival es completo en el sentido de que no es posible adquirir más información a través de 'variables ocultas' y demás. *Esto es todo lo que hay para saber!* De cualquier modo el estado en el nivel reduccionista del sistema admite una interpretación de ignorancia como en el caso de la mecánica estadística. Esta ignorancia, sin embargo, es intrínseca a la relación entre potencialidad y actualidad, y no se refiere a una ignorancia epistémica respecto al estado "real" del sistema.

La contextualidad no niega la existencia de una realidad independiente, sólo nos brinda restricciones sobre aquello que puede considerarse real. La 'realidad' no debería ser un concepto presupuesto o un prejuicio utilizado para observar y relacionar datos empíricos, sino un más bien un concepto a desarrollar y transformar. No deberíamos esperar que la realidad se comporte: "...como nos gustaría que se comportara" y constantemente debemos revisar el esquema conceptual con el que realizamos la descripción. Siguiendo la idea central que llevo a Einstein a la teoría de la relatividad especial, no deberíamos concluir experimentos a partir de la realidad sino más bien lo opuesto.

En este caso la naturaleza de la realidad dependerá del contexto definitivo. La realidad perspectival seguirá siendo *objetiva* en el sentido de que dado un estado del sistema y una perspectiva a partir de la cual el sistema es "observado", quedará unívocamente definido un conjunto de propiedades y probabilidades conjuntas. Existe además, en cada contexto definido, una simetría entre sus componentes, debido a que cada uno de ellos puede actuar como sistema observador u observado. En cada contexto no existe un observador privilegiado, sino más bien cada contexto establece una relación definitiva entre sus componentes.

La interpretación Perspectival provee una descripción de la *estructura de la realidad* y de ningún modo resulta un algoritmo a partir del cual calcular probabilidades conjuntas o realizar una adscripción de propiedades. Señala que no es posible brindar una descripción consistente e interesante de la mecánica cuántica en forma no contextual; i.e. *que la contextualidad es una de las características fundamentales de la mecánica cuántica*.

4. Decoherencia: un puente entre el Holismo y el Reduccionismo

En este punto alguien podría preguntar respecto del proceso de actualización: ¿Cuál es el proceso que lleva a la actualización de un corte particular entre todos los posibles? *Sostendré que el mecanismo es la decoherencia cuántica* (Zurek 1982).

Cuando la decoherencia toma lugar, se produce una interacción física que determina la actualización de la correlación entre todos los subsistemas ya definidos. En esta etapa la destrucción de la coherencia se hace permanente. Se produce una marca indeleble y esta interacción debe constituir efectivamente un *proceso irreversible* en el sentido de que si bien tal proceso siempre deja abierta la posibilidad de una evolución reversible en el estado inicial, la probabilidad de que ocurra tal suceso puede ser descartada en la práctica. Las propiedades se vuelven *propiedades actuales o reduccionistas* y no es posible 'cambiar' las correlaciones entre el sistema y la perspectiva desde la cual es 'observada'. De este modo los estados físicos reducidos pueden tener una interpretación de ignorancia; i.e. el estado en el sentido holista no fija el valor de las cantidades físicas de modo tal que hay ignorancia. De cualquier modo, en la formulación de Dieks-Vermaas (1995) el estado representa un *conocimiento máximo* del sistema (d'Espagnat 1976, Cap. 6).

La decoherencia produce el paso desde el nivel holístico - potencial, donde todas las propiedades coexisten, al nivel reduccionista - actual, en el cual existe una impresión de las correlaciones entre los distintos subsistemas.

5. Descripciones Complementarias

De esta forma es posible constituir una formulación consistente en la cual cada esquema conceptual complementario (Primas (1983), Lombardi (2002) y de Rondé (2003)) puede desarrollar, a partir del propio nivel ontológico, una nueva concepción de la realidad. Objetividad no significa independiente del contexto, sino que resulta de los esquemas conceptuales aplicados a la realidad. Dentro de este marco, diferentes esquemas conceptuales definen diferentes ontologías que pueden coexistir en un mismo paradigma y la pluralidad de niveles ontológicos permite así desarrollar una descripción complementaria de la realidad.

La ontología es dependiente del marco teórico, con lo cual objetivo no significa independiente del sujeto, sino más bien, resulta de aplicar nuestros esquemas conceptuales a distintos niveles discursivos que pueden definir, en su debido tiempo, ontologías igualmente objetivas. Resulta importante saber desde cuál nivel descriptivo uno está hablando, puesto que una frase puede tener significación sólo en un cierto nivel discursivo mientras que puede resultar carente de sentido en otro.

Cabe destacar que existe no sólo una descripción complementaria en un mismo nivel ontológico, como resulta en el caso de una perspectiva con diferentes contextos posibles mutuamente excluyentes; sino que además, también existe una

descripción complementaria entre el nivel holista - potencial presente en la formulación matemática de la mecánica cuántica y el nivel reduccionista - actual en la descripción clásica de un arreglo experimental. Estos dos niveles no se encuentran en contradicción, y sólo juntos pueden proporcionar un mejor entendimiento de las relaciones entre los posibles esquemas conceptuales que pueden ser utilizados para describir la *realidad*.

Me gustaría finalizar con una cita de Heisenberg referida a una discusión con Wolfgang Pauli y Niels Bohr:

[...] De nuevo tomé la palabra Niels]. Desde luego, tampoco yo puedo hacer nada con semejante limitación del lenguaje. Conoces sin duda, la poesía de Schiller 'Sentencias de Confucio', y sabes que siento especial predilección por aquellos dos versos: "Solo la plenitud lleva a la claridad y es en lo más profundo donde habita la verdad". La plenitud es aquí no solo la plenitud de la experiencia, sino también la plenitud de los conceptos, de los diversos modos de hablar sobre nuestro problema y sobre los fenómenos. Solo cuando se habla sin cesar con conceptos diferentes de las maravillosas relaciones entre las leyes formales de la teoría cuántica y los fenómenos observados, quedan iluminadas estas relaciones en todos sus aspectos, adquieren relieve en la conciencia sus aparentes contradicciones internas, y puede llevarse a cabo la transformación en la estructura del pensar, que es presupuesto necesario para comprender la teoría cuántica. (Heisenberg, 1972, p. 279)

Referencias

- Bacciagaluppi, G. (1995) "A Kochen Specker theorem in the Modal Interpretation of Quantum Mechanics", *Internal Journal of Theoretical Physics*, 34, 1205-1216.
- Bacciagaluppi, G. and Dickson, W.M. (1997) "Dynamics for Density Operator Interpretations of Quantum Theory", *Los-Alamos National Laboratory*; quant-ph/9711048.
- Bene and Dieks (2001) "A Perspectival Version of the Modal Interpretation of Quantum Mechanics and the Origin of Macroscopic Behavior", *Foundation of Physics*, Vol. 32, No5, May 2002
- Bub, J. (1992) "Quantum Mechanics without the Projection Postulate", *Foundation of Physics*, 22, 737-754
- Clifton, R.K. (1995) "Independent Motivation of the Kochen Dieks Modal Interpretation of Quantum Mechanics", *British Journal for the Philosophy of Science*, 46, 33-57
- D'Espagnat, B. (1976) *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, Benjamin, Reading MA.
- Dieks, D. (1988) "Quantum Mechanics and Realism", *Conceptus XXII*, 57, 31-47.
- Dieks, D. and Vermaas, P.E. (1995) "The Modal Interpretation of Quantum Mechanics and Its Generalization to Density Operators" *Foundations of Physics*, 25, 145-158.
- Everett, H. (1957) "'Relative State' Formulation of Quantum Mechanics" *Reviews of Modern Physics*, 29, 454-462.
- Healey, R.A. (1989) *The Philosophy of quantum mechanics: An interactive interpretation*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Heisenberg, W. (1972) *Diálogos sobre la Física Atómica*, Editorial Católica, Madrid.
- Kochen, S. (1985) "A New Interpretation of Quantum Mechanics" pp. 151-169 in P.Lathi and P. Mittelslaedt, Eds., *Symposium on the foundations of Modern Physics 1985*, World Scientific.
- Krips, H. (1987) *The Metaphysics of Quantum Theory*, Clarendon Press, Oxford
- Lombardi, O. (2002) "Determinism, Internalism and Objectivity", pp. 75-87 in H. Atmanspacher and R. Bishop Eds., *Between Chance and Choice*, Imprint Academic, Exeter

- Mittelstaedt, P. (1998) *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*, Cambridge University Press.
- Primas, H. (1983) *Chemistry, Quantum Mechanics and Reductionism*, Springer Verlag, Berlin.
- Primas, H. (1994) "Hierarchical Quantum Descriptions and their Associated Ontologies", pp. 201-220 in Laurikainen, K.V., Montonen C. and Sunnarborg K. Eds. (1994), *Editions Frontiers, Symposia on the Foundations of Modern Physics 1994*, Frontiers, Gif-sur-Yvette Cedex.
- de Ronde, C. (2003) "Interpretación Perspectival de la Mecánica Cuántica (una historia sobre correlaciones y holismo)", *Tesis de Licenciatura de la carrera de Ciencias Físicas (Director: Dennis Dieks)*, Universidad de Utrecht y Universidad de Buenos Aires.
- Van Fraassen, B.C. (1973) "Semantic Analysis of Quantum Logic", pp.80-113 in C.A. Hooker Eds., *Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory*, Dordrecht.
- Van Fraassen, B.C. (1991) *Quantum Mechanics. An Empiricist View*, Clarendon, Oxford.
- Vermaas, P.E. (1997) "A No-Go Theorem for Joint Property Ascriptions in Modal Interpretation" *Physics Review Letters*, 78, 2033-2037.
- Vermaas, P.E. (1999) "Two No-Go Theorems for Modal Interpretations of Quantum Mechanics", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, Vol 30, No. 3, 403-431.
- Zurek, W.H. (1982) "Environment-induced superselection rules" *Physical Review D*, Vol 26, No 8.

Notas

- 1 Mittelstaedt (1998).
- 2 Healey (1988), Krips (1989), Bub (1992), Bacciagaluppi y Dickson (1997) y van Fraassen (1991).
- 3 Descomposición de Schmidt del estado sistema + aparato.
- 4 Bacciagaluppi (1995), Clifton (1995) y Vermaas (1997 y 1999).