

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XIX JORNADAS

VOLUMEN 15 (2009)

Diego Letzen  
Penélope Lodeyro

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



# Sobre la naturaleza posible de las entidades cuánticas

Olimpia Lombardi\* y Martín Narvaja††

## 1. Introducción

Como observa Max Jammer (1974) uno de los principales problemas asociados a la interpretación de la mecánica cuántica es la elucidación de la imagen del mundo a ella asociada. Tal problema constituye el tema general del presente trabajo. Más específicamente, nuestro propósito es establecer qué clase de cosas son las entidades cuánticas, y cómo pueden subsumirse dentro de la categoría filosófica de objeto. Argumentaremos que la respuesta a la primera pregunta es afirmativa y que los sistemas cuánticos pueden ser concebidos como *objetos posibles*.

Muchos de los físicos y filósofos dedicados a este problema han negado la posibilidad de referirse a las entidades cuánticas como objetos. Dejando a un lado las ideas asociadas a la difusa interpretación de Copenhague, ya en la segunda mitad del siglo XX Post (1963) afirmaba que las partículas elementales deben ser concebidas como “no-individuos”. Más recientemente Teller ha abordado el problema en términos de “haccedad”, esto es, lo que hace a un objeto ser diferente de todos los demás de un modo que trasciende todas sus propiedades, y negando que las entidades cuánticas posean algo como ella (Teller 1998, p.122). A continuación presentaremos uno de los principales aspectos cuánticos que subyacen a dichas opiniones.

## 2. El problema de la contextualidad

Aun cuando es el problema de la indistinguibilidad el que ha ocupado la mayor atención de las investigaciones filosóficas acerca de la ontología cuántica (acerca del estado de dicho problema y el estado de la cuestión: French y Krause 2006), el problema de la contextualidad es uno de los obstáculos ineludibles para el tratamiento de los aspectos ontológicos de la mecánica cuántica.

El problema de la contextualidad tiene su origen en el *Principio de Indeterminación* de Heisenberg, según el cual la teoría no asigna valores definidos a magnitudes u “observables” que no conmutan (incompatibles), esto es, pertenecientes a distintos contextos. Inicialmente, las limitaciones impuestas por tal principio estaban asociadas a consideraciones tanto de carácter epistémico (como limitaciones meramente experimentales) como ontológico. Sin embargo, posteriormente, especialmente a partir de la formulación de la mecánica cuántica realizada por Von Neumann, el problema adquirió rasgos netamente ontológicos (Jammer 1974). En tal contexto las limitaciones que impone la mecánica cuántica se profundizaron con los argumentos de Von Neumann acerca de la imposibilidad de “completar” la descripción cuántica con variables ocultas (Von Neumann 1932 [1949]), el teorema de Gleason (1957) y el teorema de Kochen y Specker (1967), que demuestra que el formalismo de la mecánica cuántica impide

---

\* CONICET-UBA

† CONICET-UBA -UCEL

‡ Este artículo forma parte de la investigación sobre *Fundamentación de la mecánica cuántica y de su relación con el mundo químico*, subvencionada por la UCEL.

asignar un valor preciso a todos los observables de un sistema que se encuentra en un cierto estado cuántico.

La consecuencia filosófica de este teorema es que, no sólo la teoría no permite adjudicar valores precisos a observables pertenecientes a diferentes contextos, sino que tal adjudicación es *contradictoria* con ella. Todo intento de conservar las predicciones estadísticas cuánticas suplementándolas con alguna asignación de valores precisos para la totalidad de los observables de un sistema cuántico desencadena predicciones estadísticas incompatibles con las que provee la propia mecánica cuántica (Redhead 1987). Los objetos cuánticos son así objetos ontológicamente contextuales. El problema de entender qué significa esta característica se conoce como el *problema de la contextualidad*, cuyo correlato algebraico es el carácter no booleano de la estructura de las proposiciones cuánticas.

Tal problema ha dado lugar a la formulación de estructuras algebraicas no clásicas que se conocen como lógicas cuánticas. En esta línea se encuentran las álgebras de von Neumann, así como los trabajos de Mittelstaedt (1998) y Cohen (1989). La idea de que estas álgebras constituyen una verdadera lógica, es decir, un conjunto de reglas de inferencia sintácticas y no sólo un artilugio matemático fue defendida entre otros por Bell (1986), quien demostró que el "teorema de la deducción" es válido en ellas, si bien el orden en que se introducen las premisas de una inferencia puede producir resultados distintos.

### 3. Dos versiones sobre los objetos

Pocas preguntas de apariencia tan inocente demandan tanto trabajo para su elucidación. La respuesta parece obvia: "esta mesa aquí enfrente es un objeto" o, con mayor generalidad, "las mesas son objetos". Pero no se trata de preguntarse acerca de si una mesa es un objeto, sino de qué es lo que debe tener algo para ser un objeto, a qué hacemos referencia cuando hablamos de objetos. Recordemos las dos grandes perspectivas al respecto que han sido formuladas en la filosofía.

Si bien las posiciones de Aristóteles, Agustín, Locke, Leibniz y Kant difieren en gran medida, todas ellas pueden alinearse bajo la *concepción substancialista*, según la cual los objetos son individuos substanciales: la sustancia provee su principio de identidad a través del tiempo y del cambio. Algunos filósofos contemporáneos, como Strawson (1959), Geach (1962) y Wiggins (2001) han defendido, de manera coherente con las ideas de Leibniz y Aristóteles, que la identificación de una cosa depende de la respuesta a la pregunta "¿qué tipo de cosa es?" Así, el hecho de que el objeto  $a$  sea el mismo que el objeto  $b$  (que ' $a = b$ ' sea verdadero) depende del hecho de que  $a$  sea el mismo  $F$  que  $b$  ( $a =^F b$ ), donde  $F$  es un sustantivo común (*sortal term* en la terminología de Strawson y Wiggins). Que un objeto sea un  $F$  determina qué tipo de cosa es y esta determinación tiene dos consecuencias: ser un  $F$  determina las clases de propiedades que el objeto puede tener (los tipos de propiedades que cabe preguntar si el objeto posee) y ofrece, por lo común, algún principio interno que justifica su continuidad (por ejemplo, algún tipo de relación funcional entre sus partes).

En la *concepción empirista* se cuentan filósofos como los antiguos lógicos budistas (Fatone 1972), nominalistas medievales como Ockham, escépticos modernos como Hume, y autores contemporáneos como Goodman y Quine (1947). Los dos elementos que subyacen a esta

posición son el disgusto respecto de la idea de substancia y el carácter primordial que se otorga al aspecto epistemológico en la constitución de la ontología.

Para los filósofos de la concepción empirista, las entidades reales no son caballos o mesas sino ciertas entidades más básicas. Según la versión de Hume, al hablar de 'esta mesa' nos referimos a un conjunto particular de impresiones. Las verdaderas entidades de la realidad serían las cualidades o propiedades particulares presentes en un instante determinado. En consecuencia, nombres propios como 'Yastato', no designan a un individuo particular sino una clase, agregado o conjunto de entidades más básicas.

Desde esta concepción, aquello a lo que llamamos cosas en nuestro discurso habitual resulta de ciertas operaciones mentales o formales sobre un dominio de entidades básicas (propiedades, tropos, ideas, etc.). Diversos filósofos proponen distintas reglas para la reconstrucción de los objetos del discurso habitual: por ejemplo, Hume se ampara en la contigüidad y la semejanza; Quine y Goodman en los principios de la mereología. Desde esta concepción no puede decirse en rigor que los objetos duren; de lo único que puede decirse que dura es de una serie de entidades básicas (Fatone 1972, p.250 y ss.).

#### 4. Las concepciones clásicas puestas a prueba

La cuestión entonces resulta ser la siguiente: ¿Pueden las concepciones empirista y sustancialista de objeto dar cuenta de entidades contextuales?

En la concepción empirista, el objeto resulta de aplicar reglas para su constitución a partir de entidades básicas, en general propiedades o impresiones. Si bien las reglas que utilizamos para constituir los objetos clásicos no funcionan en el dominio cuántico, nada impide utilizar allí otras reglas que respeten la contextualidad. En cierta forma, esto es lo que proponen ciertas interpretaciones modales cuando formulan una dinámica de las propiedades que efectivamente posee la entidad cuántica (Vermaas 1996); pero tal dinámica es necesariamente *probabilística* puesto que la teoría no determina las propiedades que el sistema posee a cada instante. El problema entonces reside en concebir cómo y si es posible adaptar la versión empirista de los objetos a un dominio básico de entidades que no son estrictamente "empíricas", que no son actuales. Volveremos sobre este punto en la sección siguiente.

El sustancialismo parece verse en mayores dificultades. Si la respuesta a la pregunta '¿qué tipo de cosa es tal entidad cuántica?' tiene como respuesta predicados como '(x) es un electrón', y tales predicados definen las propiedades-tipo que aplican a x (posición, momento, etc.), entonces las entidades cuánticas no son objetos sustanciales. En efecto, 'electrón' define un conjunto de propiedades-tipo y, sin embargo, no todas ellas tienen valores definidos en un dado instante. La contextualidad viola, así, un principio íntimamente asociado a la concepción sustancialista. el principio de determinación omnimoda.

Sin embargo, como observa Feyerabend (1981), el problema puede reformularse del siguiente modo: "supuesto (C): (a) Divida la clase de todas las propiedades que las entidades en cuestión pueden poseer en cierto instante en subclases que comprendan sólo aquellas propiedades que se excluyen entre sí. Tales subclases serán llamadas categorías pertenecientes a las entidades en cuestión. Entonces, cada entidad posee siempre una propiedad proveniente de cada categoría. (b) Las categorías a usarse son las categorías clásicas. Aplicado al caso de un electrón, C afirma que el electrón siempre posee una posición y un momento bien definidos". Pero, continúa

Feyerabend, no hay motivos para presuponer que las categorías *deban* ser las clásicas. Tal vez, una salida para el sustancialista sea aceptar que los “términos sortales” de la mecánica cuántica no son ‘electrón’ o ‘protón’.

Aparentemente, un candidato para objeto sustancial adecuado para la cuántica es el que ofrece la interpretación modal-hamiltoniana (Lombardi & Castagnino 2008), que define a los sistemas cuánticos en términos de un espacio de observables. En este caso, el “término sortal” sería ‘sistema cuántico’ y la categoría correspondiente sería, precisamente ‘espacio de observables’. De este modo, la entidad sistema cuántico siempre poseería una propiedad de tal categoría, esto es, un espacio de observables definido. Sin embargo, esta estrategia oculta el hecho de que los observables no son propiedades actuales sino *posibles*: son las propiedades que el sistema puede (o no) poseer en cada instante.

En definitiva, cuando las concepciones tradicionales intentan dar cuenta de las entidades cuánticas, acaba por filtrarse la noción de posibilidad. Esto no resulta sorprendente en la medida en que la mecánica cuántica es una teoría probabilística.

## 5. Posibles ¿soluciones?

Las dificultades de las concepciones sustancialista y empirista de objeto para dar cuenta de las entidades cuánticas se basa en el supuesto implícito de que los objetos son objetos actuales. No obstante, diversas interpretaciones realistas de la mecánica cuántica señalan el carácter modal de la teoría (van Fraassen 1972, 1973, 1974, Dieks 1988, 2007, Dieks y Vermaas 1998). De acuerdo con ellas, el formalismo de la mecánica cuántica no describe lo que ocurre actualmente, sino lo que puede suceder. Por lo tanto, cabe preguntarse si la respuesta por las entidades cuánticas no debe buscarse también en la noción de *objeto posible*.

Priest (2001) presenta tres respuestas a la pregunta qué son los mundos posibles: realismo modal, actualismo modal y meinongianismo. De acuerdo con el *realismo modal*, los mundos posibles están constituidos por objetos físicos como los del mundo actual pero que existen en otro lugar o tiempo: lo que es posible en este mundo estaría dado por lo que es actual en otro lugar o tiempo. Según en *actualismo modal*, un mundo posible es una clase especial de entidades abstractas (como los números) individuadas por el conjunto de hechos verdaderos en tal mundo: en particular, según una estrategia combinatorialista, un mundo posible sería un conjunto de objetos de este mundo (actuales) organizados o estructurados de otra forma. Finalmente, el *meinongianismo*, llamado así en honor al filósofo Meinong, concibe los objetos posibles como inexistentes en el mundo actual, como Adán Buenosayres. Conocemos los hechos sobre estos objetos porque los estipulamos: Adán Buenosayres vive en la calle Monte Egmont y no en Serrano porque así fue estipulado por Leopoldo Marechal.

Tanto el realismo modal como el actualismo modal son posiciones *actualistas*, donde lo posible se determina en función de lo actual. Precisamente por ello no parecen adecuadas para dar cuenta de la posibilidad cuántica, puesto que la teoría es intrínsecamente indeterminista: el formalismo cuántico describe posibilidades que pueden no ingresar nunca al ámbito de lo actual. El meinongianismo, en cambio, es una perspectiva *posibilista*, que concibe lo posible como un dominio independiente e irreductible a lo actual. Quine (1953) ha criticado la posición possibilista sobre la base de tres argumentos: una vez aceptadas las entidades posibles (i) no existe modo no trivial de delimitar su dominio, (ii) no podemos interactuar causalmente ni de ningún modo con

ellas, y (iii) tampoco podemos individualizarlas. Las dos primeras no se aplican al caso de la mecánica cuántica, ya que la teoría delimita el dominio lo posible de forma precisa y a través de ella tenemos acceso a las posibilidades y las vinculamos con lo actual. Finalmente, aunque este no es el lugar adecuado para desarrollar tal cuestión, cabe destacar que el objeto de la tercera crítica, sería más bien una virtud en el contexto cuántico, puesto que podría permitir dar cuenta de la indistinguibilidad cuántica.

La idea de las entidades cuánticas como *objetos posibles* permite enfrentarse de un modo natural al problema de la contextualidad. Los objetos posibles se encuentran en mejor posición que los actuales frente al desafío impuesto por el teorema de Kochen y Specker, puesto que este teorema sólo se refiere a lo actual: todos los observables del sistema poseen sus valores posibles en cualquier instante

La imagen de objetos posibles resuelve, además, el problema de la identidad a través del tiempo. En efecto, si un sistema cuántico es un objeto posible descrito mediante el conjunto de sus observables definidos sobre su espacio de Hilbert, el sistema permanece invariante en el tiempo en la medida en que el conjunto de observables no se modifica. Por otra parte, nada de lo que suceda en el ámbito de lo actual modifica la identidad del sistema cuántico en tanto objeto posible: el sistema es el mismo con independencia de qué hechos actuales particulares ocurran.

En definitiva, desde esta perspectiva, la idea de partículas (por ejemplo, electrones o fotones) como objetos actuales sólo puede retenerse en un sentido metafórico. En el marco cuántico, incluso el número de partículas se representa mediante un observable  $N$  que, en algunas situaciones, puede no poseer valor actual definido. Esto sucede principalmente en teoría cuántica de campos, donde suelen darse estados que son superposiciones de números de partículas diferentes (ver Butterfield 1993). Este hecho, totalmente conflictivo desde una concepción de objetos actuales, pierde su misterio si el sistema cuántico es un objeto posible que posee diferentes números de subsistemas posibles, expresados por los valores posibles (autovalores) del observable  $N$ .

## 6. Conclusiones

La mayor dificultad para comprender las entidades cuánticas en términos de objetos o individuos reside en el problema de dar cuenta, mediante categorías filosóficas tradicionales, de objetos *contextuales*. Frente a esta dificultad cabe preguntarse si la respuesta al problema ontológico podría hallarse, no ya en un cambio de lógica sino en una nueva concepción del objeto cuántico. En particular, si las entidades cuánticas como objetos actuales se escurren cada vez que intentamos asirlas, tal vez la mejor estrategia sea abandonarlas.

Sobre esta base, hemos propuesto la idea de objeto posible como aquello de lo cual nos habla la mecánica cuántica. Desde esta perspectiva, los desafíos que han conducido a muchos autores a proponer el abandono de la noción de objeto para la ontología cuántica dejan de ser obstáculos insalvables. Los objetos posibles son mucho menos rígidos que los actuales: no están sujetos o son inmunes a la contextualidad impuesta por los teoremas de Gleason y de Kochen y Specker. Y si bien una ontología tal puede, en principio, resultar bizarra a la luz de la metafísica tradicional, parece ajustarse adecuadamente a una teoría intrínsecamente indeterminista que, como la mecánica cuántica, describe lo que puede ocurrir y no lo que efectivamente sucede. En

otras palabras la ontología cuántica puede ser inusual pero no es inasible, y sus particularidades reflejan posiblemente aquellas particularidades físicas de las que la teoría da cuenta.

## Bibliografía

- Bell, J. (1986), "From absolute to local mathematics", *Synthese*, **69**, 409-426.
- Butterfield, J. (1993), "Interpretation and identity in quantum theory", *Studies in History and Philosophy of Science*, **24**, 443-476.
- Cohen, D. W. (1989), *An Introduction to Hilbert Space and Quantum Logic*. New York: Springer-Verlag.
- da Costa, N. & Krause, D. (1994), "Schrödinger logics", *Studia Logica*, **53**, 533-550.
- da Costa, N. & Krause, D. (1997), "An intensional Schrödinger logic", *Notre Dame Journal of Formal Logic*, **38**, 179-194.
- da Costa, N. & Krause, D. (1999), "Set-theoretical models for quantum systems", en M. L. dalla Chiara, R. Giuntini & F. Laudisa (eds.), *Language, Quantum, Music*. Dordrecht: Kluwer, 171-181.
- dalla Chiara, M. L. & Toraldo di Francia, G. (1993), "Individuals, kinds and names in physics", en G. Corsi, M. L. dalla Chiara & G. C. Ghirardi (eds.), *Bridging the Gap: Philosophy, Mathematics and Physics*. Dordrecht: Kluwer, 261-283.
- dalla Chiara, M. L. & Toraldo di Francia, G. (1995), "Identity questions from quantum theory", en K. Gavroglu, J. Stachel & M. W. Wartofski (eds.), *Physics, Philosophy and the Scientific Community*. Dordrecht: Kluwer, 39-46.
- Dieks, D. (1988), "The formalism of quantum theory: An objective description of reality?", *Annalen der Physik*, **7**, 174-190.
- Dieks, D. (2007), "Probability in modal interpretations of quantum mechanics", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, **38**, 292-310.
- Dieks, D. & Vermaas, P. E. (1998), *The Modal Interpretation of Quantum Mechanics*. Dordrecht: Kluwer.
- Fatone, V. (1972), "La lógica en la India", en *Obras completas*, Vol. 2. Buenos Aires: Sudamericana.
- Feyerabend, P. (1981), "Reichenbach's interpretation of quantum mechanics", en *Realism, Rationalism and Scientific Methods Philosophical Papers, Volume 1*. Cambridge: Cambridge University Press, 236-46.
- French, S. & Krause, D. (2006), *Identity in Physics. A Historical, Philosophical and Formal Analysis*, Oxford. Oxford University Press.
- Geach, P. (1962), *Reference and Generality*. Ithaca. Cornell University Press.
- Gleason, A. M. (1957). "Measures on the closed subspaces of a Hilbert space", *Journal of Mathematics and Mechanics*, **6**: 885-93.
- Goodman, N. & Quine, W. V. O. (1947), "Steps toward a constructive nominalism", *Journal of Symbolic Logic*, **12**, 105-22.
- Jammer, M. (1974), *The Philosophy of Quantum Mechanics. The Interpretation of Quantum Mechanics in Historical Perspective*. New York: John Wiley.
- Kochen, S. & Specker, E. (1967), "The problem of hidden variables in quantum mechanics", *Journal of Mathematics and Mechanics*, **17**, 59-87.
- Landau, R. & Lifshitz, E. (1974), *Curso Abreviado de Física Teórica. Libro 2. Mecánica Cuántica*. Moscú. Editorial Mir.
- Lombardi, O. & Castagnino, M. (2008), "A modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics", *Studies in History and Philosophy of Science*, **39**, 380-443.
- Mittelstaedt P. (1998), *The Interpretation of Quantum Mechanics and the Measurement Process*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Post, H. (1963), "Individuality and physics", *Listener*, **70**, 534-537.
- Priest, G. (2001) *An Introduction to Non-Classical Logic*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Quine, W. V. O. (1953), "On what there is", en *From a Logical Point of View*. New York: Harper, 1-19.
- Redhead, M. (1987). *Incompleteness, Nonlocality, and Realism. A Prolegomenon to the Philosophy of Quantum Mechanics*, Clarendon Press, Oxford.
- Russell, B. (1977), *Exposición Crítica de la Filosofía de Leibniz*. Buenos Aires. La Pléyade.
- Strawson, P. (1959), *Individuals*. London: Methuen.
- Teller, P. (1998), "Quantum mechanics and haecceities", en E. Castellani (ed.), *Interpreting Bodies. Classical and Quantum Objects in Modern Physics*. Princeton. Princeton University Press, 114-141.

- van Fraassen, B. C. (1972), "A formal approach to the philosophy of science", en R. Colodny (ed.), *Paradigms and Paradoxes: The Philosophical Challenge of the Quantum Domain*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 303-366.
- van Fraassen, B. C. (1973), "Semantic analysis of quantum logic", en C. A. Hooker (ed.), *Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory*. Dordrecht: Reidel, 80-113.
- van Fraassen, B. C. (1974), "The Einstein-Podolsky-Rosen paradox", *Synthese*, 29, 291-309.
- Vermaas, P. E. (1996), "Unique transition probabilities in the modal interpretation", *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 27, 133-159
- Von Neumann, J. (1932) [1949]. *Fundamentos Matemáticos de la Mecánica Cuántica*, Publicaciones del Instituto de Matemáticas "Jorge Juan", Madrid.
- Wiggins, D. (2001). *Sameness and Substance Renewed*. Cambridge: Cambridge University Press.