

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVI JORNADAS

VOLUMEN 12 (2006)

José Ahumada  
Marzio Pantalone  
Víctor Rodríguez  
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA  
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



## ¿De qué hablamos cuando hablamos de partículas?

*Martín Narvaja\**

“Oh, que digna de admiración es aquella forma cuya infinitud simplísima no pueden explicar todas las formas formables.”

Nicolás de Cusa

Resulta difícil encontrar en el ámbito de la Filosofía, e incluso fuera suyo, alguien que no considere que hay algo sorprendente o extraño en de la naturaleza de los objetos de que se ocupa la Física Cuántica. Más difícil aún es encontrar a quien pueda precisar qué es eso. En los párrafos siguientes intentaré señalar dónde está y dónde no aquello que hay de inusual en los objetos cuánticos.

Innecesario es decir que son muchas las maneras en que esta cuestión podría encararse, muchas son las maneras para encarar cualquier cuestión. Lo que haremos será lo siguiente: en primer lugar, consideraremos la noción de objeto en general y algunas de substancia, intentando allí precisar para ellas un sentido claro. En segundo lugar, evocaremos el argumento que Hume dedica a la cuestión de la substancia. En tercer lugar, mencionaré algunas características del mundillo atómico y la teoría cuántica, entre ellas el célebre principio de indeterminación de Heisenberg. Luego mostraré que se puede llegar a los mismos corolarios para los objetos cuánticos con este principio, que con el empirismo de Hume para los macroscópicos. En quinto y último lugar, haré mención al teorema de Kochen y Specker, concluyendo que la mayor dificultad para entender a las partículas como objetos se debe a las consecuencias que se siguen del teorema junto a una suposición habitual que este prohíbe hacer.

Resumiendo: formularé una analogía. No únicamente con el objeto de iluminar la naturaleza de lo menos conocido —en este caso los sistemas cuánticos— a partir de su parecido con lo que se conoce mejor, sino también con la intención de iluminarlo por aquello en que difiere de esto último.

### I

*Un objeto, una cosa, una entidad individual, algo*, nombres distintos con similar significado. Hablamos de un mismo objeto a través del tiempo, aún cuando este sufra cambios leves o notables. Hablamos también de distintos objetos y clases de objetos en el mundo, obviare los ejemplos que todos conocemos al respecto.

La filosófica indagación acerca de la noción de “objeto” inició con la búsqueda algún criterio, principio o conjunto de ellos que diera razón de por qué algo es un individuo, un *principio de individuación*. El Diccionario, cómo no empezar por él, de Filosofía (Ferrater Mora, 1970) ofrece cuatro criterios que funcionan simultáneamente como nociones de individuo:

---

\* Universidad de Buenos Aires  
*Epistemología e Historia de la Ciencia*, Volumen 12 (2006)

- 1- Criterios clásicos, que eligen la forma o materia.
- 2- Lo individual es aquello fundado "en sí mismo".
- 3- La idea de la cosa como "cosa individual" está determinada por la localización espacio temporal.
- 4- La noción de individuo es una construcción mental a base de los datos de los sentidos.

Los dos primeros criterios apuntaban a la substancia, a continuación consideraremos esto con mayor detalle. El tercer criterio no era suficientemente general como para resultar de utilidad a nuestros propósitos, su aplicación se limita a los objetos materiales de cierto tamaño, como puede verse en *Individuos* de Strawson (1959, Pág. 39). El último criterio, que es el que sugiero adoptar, será tratado en las secciones posteriores.

Básicamente entonces, tenemos dos ideas de "objeto" en competencia, en todo sentido: la substancialista y la no substancialista. El resto de esta sección intenta precisar qué se entiende por substancia.

Aristóteles afirma, como prácticamente de todo aquello que no cumple la función gramatical de artículo, que "substancia" se dice en muchos sentidos: "*De la substancia se habla al menos en cuatro sentidos principales La esencia, el universal y el género parecen ser substancia de cada cosa; el cuarto de ellos es el sujeto. Y el sujeto es aquello de lo que se dicen las demás cosas sin que él, por su parte, se diga de otra cosa ... porque el sujeto primero parece ser substancia en sumo grado*". (Metafísica 1028 b y 1029 a), con universal y género se refiere a la materia y la forma -Vg. bronce y "estatua"-.

Su análisis es adecuado y además semejante al que puede realizarse a partir del uso común actual reflejado en el diccionario. La substancia significa ambiguamente tanto la cosa misma como la unidad subyacente que permanece en sus alteraciones parciales, la parte lógica o metafísica, substancia, y la material, sustancia; materia y sustrato de propiedades, como observan Morente (1960) y García Yebra (en Aristóteles 1990).

Considerando la postura de Leibniz, esbozada en el Discurso de Metafísica y expresada en la Monadología (Leibniz 1982), como señala Russell en *Exposición Crítica de la doctrina de Leibniz*, observamos un refinamiento y la substancia ha devenido exclusivamente en el sujeto de inherencia de las propiedades, aquel objeto metafísico que las alberga.

Resumiendo, al estudiar la noción de objeto buscamos algún criterio que nos permitiese identificarlos, la búsqueda llevó a dos posibles respuestas. la primera de ellas asociaba a los objetos con la substancia, siguiendo esta vía hemos observado que ella misma es ambiguamente el sustrato de las propiedades y el objeto mismo, hay así una relación profunda entre ambas ideas, la una nos lleva a la otra, la otra nos remite a la primera. Consideraremos ahora la segunda posibilidad, ella parte de una réplica a la primera.

## II.

Detrás de la idea de objeto nos topamos con la "substancia", asimismo, vimos qué se ha entendido o puede entenderse por ella. Veamos ahora lo que dice Hume respecto de la substancia en la tercera sección de la parte IV del libro I del Tratado (Hume, 1984).

- 1 Tenemos impresiones continuas espacio temporalmente de un conjunto de propiedades;
- 2 Formamos la idea de individuo a partir de esta contigüidad,

- 3 Cuando hay grandes alteraciones en el conjunto de propiedades de un mismo individuo, la imaginación halla dificultades para hilar la continuidad de un mismo objeto.
- 4 Cuando la imaginación encuentra tales dificultades, produce una tendencia a creer en un sustrato que es único y permanece tras el cambio.
- 5 Así la imaginación da razón de la continuidad del objeto individual sin que jamás tengamos experiencia de cosa tal como la substancia.

El argumento no concluye la inexistencia de la substancia, mucho menos su incompatibilidad con la experiencia. La crítica consiste en el rechazo de la validez de toda inferencia que partiera de nuestra experiencia del cambio y concluyese la existencia de substancias.

El rechazo de la substancia requiere de algo más, y ahí entra en juego el empirismo de Hume, afirmando tácitamente que todo nuestro conocimiento se basa en *impresiones*. El hecho de que no tengamos impresiones de la substancia conlleva a que no tengamos conocimiento alguno de ella. Si fuese posible tener algún conocimiento de la substancia- Vg. por contacto directo, como sugiere Russell para el caso de los universales (1980)- tendríamos razones en favor de la creencia en ella. Por otra parte, si la suposición de tales impresiones o contacto directo fuese tal que destruyera o volviese inconsistente todo nuestro conocimiento, deberíamos negar la existencia de la substancia. El argumento de Hume, por otra parte, señala factores psicológicos que permiten comprender los motivos por los cuales tendemos a suponerla. Naturalmente, la corrección o incorrección de la teoría psicológica del escocés, no tiene importancia en la presente investigación.

La noción de objeto en Hume es tal que por éste no se entiende más que ese conjunto o secuencia de conjuntos de impresiones o propiedades. Concepciones en algún sentido cercanas hallamos en "The relation of sense-data to physics" (Russell 1953) y en el fascinante *Process & Reality* (Whitehead, 1929)

### III.

Hacia fines del siglo XIX, se sabía que los cuerpos simples, los de la tabla de Mendeleiev, podían escindirse en dos clases de componentes: unos de carga eléctrica negativa y masa diminuta, los electrones, y otros de carga eléctrica positiva y una masa mucho más elevada, los iones, siendo el protón- ion positivo del hidrógeno- el más ligero. Estos dos tipos de partículas se aglomeraban en pequeños conjuntos, los átomos. Por esa época, y a partir de los primeros experimentos de dispersión -scattering, en inglés- surge el modelo de Rutherford (para una clara presentación de tales experimentos: Crozon, 1988). En este se presenta al átomo como constituido por un núcleo pesado, con carga eléctrica positiva y pequeño diámetro, alrededor del cual gravitan ligeros electrones en número suficiente para neutralizar la carga nuclear. El modelo fue llamado "Planetario" por la analogía entre el Sol y los planetas, con el núcleo y los electrones respectivamente, a partir suyo se formarían modelos más elaborados: los de la física nuclear y molecular, basados en la mecánica cuántica.

La matemática usada en la mecánica cuántica es la teoría de los espacios de Hilbert. Estos espacios pueden concebirse intuitivamente a partir de un caso sencillo: el plano. Imaginemos el espacio bidimensional de la superficie de una hoja de papel, elegimos un punto y le llamamos "vector cero", a partir suyo pueden dibujarse dos líneas rectas perpendiculares -sean estas "X"

e “Y”- obteniendo un típico gráfico cartesiano. Cada punto espacial puede ser representado por dos números, por ejemplo: dos enteros. Cada dirección en la hoja de papel en que pudieran trazarse X e Y determina un cierto sector del espacio (hace un recorte del papel en cuatro partes), cada dirección, se dice, define una “base”, así tenemos una base cuando X es paralela a los renglones e Y al margen, y otras al rotar X e Y sobre el eje del vector cero, por ejemplo 45°, quedando X e Y en diagonal respecto de margen y renglones. Generalizando, un espacio de Hilbert es un espacio de n dimensiones, donde n puede ser infinito, y en el que cada punto puede ser precisado mediante una cierta cantidad de números, que pueden pertenecer al conjunto de los complejos.

Siendo la anterior presentación no más que una aproximación, carece de tratamiento detallado, que no deja de ser de suma importancia. Dicho tratamiento puede encontrarse en *Elementos de la teoría de funciones y del análisis funcional* (Kolmogórov 1975) y junto con una presentación formal de la teoría Cuántica en *Fundamentos matemáticos e la Mecánica Cuántica* (Von Neumann 1949).

A partir de su trabajo con Niels Bohr, Werner Heisenberg realizó la demostración de las famosas *relaciones de indeterminación*, que introduciría en su artículo de 1927. En este demostraba la imposibilidad de determinar simultáneamente la posición y el momento —o la velocidad— de una partícula cuántica -Vg.: un electrón. A mayor precisión en la determinación de la posición del objeto, menor precisión en la determinación de su momento y viceversa. Siguiéndose esto del propio formalismo de la teoría y no de cuestiones experimentales. Es decir, un enunciado del tipo “la partícula P tiene tal posición y tal momento” no podía deducirse de ella.

En mecánica cuántica, las magnitudes correspondientes a un sistema, como *posición*, *momento* o *spin*, se denominan ‘*observables*’, esa noción tiene sólo una vaga relación con el sentido intuitivo del término (para un análisis de la noción de observable en el sentido “natural”: B. Van Fraassen 2002 -Cap. 2) Los observables cuyas bases son ortogonales se agrupan en los que se denominan CCOC (conjunto completo de observables compatibles), las relaciones de indeterminación rigen entre sí para los observables que pertenecen a diferentes CCOC o “contextos”. Los valores posibles de los observables son las propiedades predicables acerca del sistema. Las relaciones de indeterminación de Heisenberg, podemos ahora decir con mayor precisión, afirman que, en el caso de observables incompatibles, no es posible mediante la teoría determinar con certeza sus valores en un determinado instante.

#### IV.

Volvamos por un momento al argumento de Hume. Tenemos una cierta naturaleza, ciertas experiencias y ellas son tales que jamás nos encontramos con la substancia en sí misma sino solo con “sus accidentes” o con algunas de las propiedades que le convendrían. Ver una cara de una moneda impide ver la otra, ver desde una cierta perspectiva elimina a otras posibles. En la práctica, jamás observamos en un instante determinado todas las propiedades que le convienen a un objeto, solo algunas, aquellas que nuestra naturaleza permite observar juntas. Esto no impide hablar de “esta moneda”, de “una moneda”. Nada hay hasta aquí de sorprendente, imaginó. Exactamente lo mismo ocurre en la Física cuántica, tenemos ciertas

experiencias y jamás nos encontramos con la substancia en si misma sino solamente con algunas propiedades que le convienen. Ver un *contexto* impide ver el otro, en la práctica jamás observamos en un instante determinado todas las propiedades que le convienen a un objeto, solo algunas, aquellas que nuestra teoría permite observar juntas. Esto no impide hablar de “una partícula” Nada debiera haber aquí de sorprendente entonces.

Hemos visto en la sección segunda que la postura de Hume no implicaba la inexistencia de la substancia, de un sustrato idéntico de todas las propiedades, tampoco la implica la introducción de las relaciones de indeterminación de Heisenberg.

El objeto cuántico podría poseer simultáneamente las propiedades correspondientes a dos observables incompatibles -como posición =  $x$ , momento =  $p$ - sólo que la teoría no tiene los medios para determinar ambos. Esta fue la idea de Albert Einstein, Boris Podolsky y Nathan Rosen (1935), cuando presentaron su famoso experimento mental destinado a respaldar un argumento en favor de la incompletitud de la mecánica cuántica, esta incompletitud se refiere a que la teoría no da cuenta de todo aquello que sería deseable. De este modo, la incertidumbre era interpretada como una limitación de la teoría y medida de nuestra ignorancia. Lo que en la analogía con Hume sería como proponer que nuestra visión es incompleta, pues no es panóptica, e insistir en que su argumento no demuestra la inexistencia de la substancia.

## V.

En 1967, Simon Kochen y Ernst Specker (1967) demostraron que el formalismo de la mecánica cuántica impide asignar un valor preciso a todos y cada uno de los observables de un sistema que se encuentra en un cierto estado cuántico. Las relaciones de indeterminación no afirmaban que tal asignación fuera imposible idealmente, pero el teorema de Kochen y Specker demuestra que cualquier asignación de propiedades correspondientes a observables incompatibles es *contradictoria* con la teoría. Es decir, no hay modo de completar la teoría mediante axiomas adicionales para poder predicar simultáneamente todas las propiedades del sistema. Como hace notar Lombardi en “Mecánica cuántica. ontología, lenguaje y racionalidad”: “*Esto significa que el objeto cuántico invalida el principio de determinación omnimoda, según el cual todas las propiedades de una entidad individual se encuentran objetivamente determinadas*”.

El principio de determinación omnimoda no es sino un modo alternativo de presentar el supuesto substancialista; en lugar de decir: en el objeto hay algo que recibe o es sustrato de todas las propiedades, dice. dado un objeto, todas sus propiedades están en él determinadas. Para resaltar la semejanza, basta poner el acento sobre el sentido ambiguo de “substancia” que por un lado es sustrato y por otro el objeto mismo.

Asimismo, dado que la substancia entendida como sustrato de propiedades debe satisfacer el requerimiento de que todas las propiedades del objeto se encuentren determinadas y tal determinación conjuntamente considerada con la teoría llevaría a contradicción, no podemos afirmar su existencia, pues esa afirmación es ella misma inconsistente con la teoría.

Recapitemos brevemente lo expuesto hasta aquí. El problema para interpretar a los objetos cuánticos como objetos, si es que lo eran, debía encontrarse en algo que habitualmente suponíamos en los objetos y que en ese caso no podíamos suponer. Lo único que hallamos en

la noción de objeto, que habitualmente suponíamos y que no se podía suponer en el caso en cuestión, resultó ser la substancia. Respecto del principio de indeterminación de Heisenberg, que es el que producía perplejidad en muchos textos, encontramos que no presentaba un carácter especialmente sorprendente o particular en cuanto al carácter de objeto de sus objetos. La analogía con el argumento de Hume mostró que, al menos para la filosofía, la cuestión no era nueva. Pero la idea de objeto, como substancia y accidente no solo se veía justificada por nuestra experiencia, o al menos no la contradecía, sino que también se mostraba como una ficción útil.

Con el teorema de Kochen y Specker observamos que el ámbito de los objetos cuánticos posee la particularidad de que no sólo no está justificada la suposición de la substancia en la naturaleza de sus objetos, sino que, además, se muestra contradictoria con respecto a la teoría. La particularidad de los objetos cuánticos se debe a una suposición que explícitamente está vedada. Adoptar entonces el camino escéptico de Hume se torna una necesidad. El nuevo problema reside en cómo asociar las observaciones parciales de un modo satisfactorio, ése es el gran problema.

No se ha intentado demostrar que los objetos de que se ocupa la física cuántica no sean raros, de hecho son muy peculiares. Lo que sí he intentado es mostrar que nada raro hay en concebirlos como objetos, separando y dejando de lado otros posibles y muy interesantes problemas que no es posible desarrollar aquí como el de la *no localidad* y el de la existencia de *partículas indiscernibles*. Espero haberlo logrado, en algún sentido, y en cierta medida.

## Bibliografía

Aristóteles. *Metafísica*. Madrid, gredos, 1990

G Birkhoff y J. Von Neumann (1936), "The logic of quantum mechanics", *Annals of Mathematics*, 37, 823-843.

Costa, A. (2003), "Complementariedad y Contextualidad en la interpretación de la mecánica cuántica", en V Rodríguez y L. Salvatico (eds.), *Epistemología e Historia de la Ciencia 2003*, Univ. Nac. de Córdoba, Córdoba, 91-98.

Crozon, M. *La materia prima, la búsqueda de las partículas elementales y sus interacciones*, Barcelona, Gedisa, 1988

Dalla Chiara, M. L. y Toraldo di Francia, G. (2001), "Quantum logics", *Los Alamos National Laboratory*, arXiv:quant-ph/0101028v2, 1-101

Einstein, A., Podolsky, B. y Rosen, N. (1935), "Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?", *Physical Review*, 47, 777-780.

J. Ferrater Mora, *Diccionario de filosofía abreviado*, Buenos Aires, Sudamericana, 1970

W Heisenberg, (1927), "Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik", *Zeitschrift für Physik*, 43, 172-198.

W Heisenberg, *Física y filosofía*, Buenos Aires, La isla, 1959

Hughes, R. I. G. (1989), *The Structure and Interpretation of Quantum Mechanics*, Harvard University Press, Cambridge MA.

D Hume, *Tratado de la naturaleza humana*. Buenos aires, Orbis, 1984

Kochen, S. y Specker, E. (1967), "The problem of hidden variables in quantum mechanics", *Journal of Mathematics and Mechanics*, 17, 59-87

A. N. Kolmogórov y S. V. Fomín, *Elementos de la teoría de funciones y del análisis funcional*, Moscú, Ed. Mir, 1975

G Leibniz "Discurso de metafísica", en E. de Olaso (comp.) *Escritos filosóficos*. Buenos Aires, Charcas. 1982.

G Leibniz "Monadología", en E. de Olaso (comp.) *Escritos filosóficos*... Buenos Aires: Charcas. 1982.

O. Lombardi, "Mecánica cuántica: ontología, lenguaje y racionalidad"

M. G. Morente, *Lecciones preliminares de filosofía*, Buenos Aires, Losada, 1960

W Quine. "Sobre lo que hay", en *Desde un punto de vista lógico*. Barcelona: Ariel. 1962.

- W Quine. "Identidad, ostención e hipótesis", en *Desde un punto de vista lógico*. Barcelona. Ariel. 1962.
- W Quine. "La evolución de la ontología de Russell", en R. Schoenman (comp) *Homenaje a Bertrand Russell*, Barcelona: Oikos-tau. 1968.
- H Reichenbach, *La filosofía científica*, México, FCE, 1973
- B. Russell. *Análisis de la materia*, Madrid, Taurus, 1976
- B. Russell. *Exposición crítica de la filosofía de Leibniz*, Buenos Aires, La Pleyade
- B. Russell, "The relation of sense-data to physics", en *Mysticism and logic*, London, pelican book. 1953
- B. Russell. "El problema de los universales", en J.A.Robles. *El problema de los universales*. México. UNAM. 1980.
- Simpson, T. *Formas lógicas, realidad y significado*, Eudeba, Buenos Aires
- Spinoza, *Ética*, Buenos Aires, Aguilar, 1973
- P Strawson. *Individuos* Madrid: Taurus.1989 Cap. 1
- B Van Fraassen, *La imagen científica*, México, Paidós UNAM, 2002
- J Von Neumann, *Fundamentos matemáticos de la Mecánica Cuántica*, Madrid, Instituto de matemáticas "Jorge Juan", 1949
- A. N. Whitehead, *Process & reality*, London, Cambridge, 1929
- A. N. Whitehead, *Science and the modern world*, London, Cambridge