

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XVII JORNADAS  
VOLUMEN 13 (2007)

Pío García  
Luis Salvatico  
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



## El problema del lenguaje en la denominada “interpretación de Copenhague”

Ana Elisa Spielberg\*

Antes de ingresar en el problema del lenguaje resaltaré, aunque no fuera más que con trazos gruesos, algunos aspectos de la trama en que se inserta lo que se ha denominado “interpretación de Copenhague.” Llamativa, por ejemplo, es la expresión de Max Born, quien en su carta dirigida a Albert Einstein comenta: “Hoy presta su nombre por doquier a la línea de pensamiento que yo creé.”[1] Efectivamente, bajo este nombre se engloba el pensamiento de diferentes físicos y, por ende, vale la pregunta si su calificativo de confusa, presente prácticamente en toda la literatura epistemológica, correspondería al pensamiento de todos ellos, solamente de algunos de ellos o, en su defecto y ¿por qué no? al de sus intérpretes? “Lo más extraño – dirá H. P. Stapp al referirse a los intérpretes – (...) es la diversidad que manifiestan en la idea de lo que sea la I.C. misma.”[2] Un atajo para resolver semejante embrollo lo toma E. Mackinnon al caracterizar esta interpretación únicamente por los aportes que en ella se incluyen: “principio de incertidumbre, idea de que los fotones, electrones y otras partículas exhiben tanto propiedades ondulatorias como corpusculares, interpretación probabilística de la función de onda, correspondencia entre valores propios y valores medidos, relaciones de complementariedad entre las representaciones de Heisenberg y Schrödinger y la idea recogida en el principio de correspondencia de que la mecánica cuántica coincide con la mecánica clásica en el límite de los grandes números cuánticos.”[3] Pero, acaso ¿basta esta simple enumeración para esclarecer lo que se entiende por “interpretación de Copenhague? Adherimos a una vía de investigación que propone elucidar el pensamiento de cada uno de los físicos que forman parte de ella - en nuestro caso lo será de Niels Bohr y Werner Heisenberg - con la esperanza de encontrar el motivo por el cual se la ha calificado no sólo de confusa, sino también de “conducir a la derrota de la razón en el interior de la física moderna y a un culto anarquista del ininteligible caos.”[4]

Un dato menor, pero que no deja de ser importante, es que una mirada rápida sobre los escritos de Niels Bohr revela la ausencia del término “interpretación de Copenhague” y sí, en cambio, aparece en los títulos del capítulo tercero y octavo del libro ya clásico de Werner Heisenberg, *Física y Filosofía*. [5] La pregunta es, si todos aquellos que se refieren a la postura de este autor se limitan a tomar en cuenta lo afirmado en sus textos o mezclan indiscriminadamente su propuesta con la de Niels Bohr o algún otro físico, al interpretar las citas de uno con el pensamiento de otro. Por otra parte Klaus Stolzenburg, en su Introducción al capítulo tercero del libro *Niels Bohr 1885-1962* afirmará que Niels Bohr y Werner Heisenberg se abocarán a la interpretación física del formalismo de la teoría de los quanta después de la visita que realizara Erwin Schrödinger al Instituto de Física Teórica de Copenhague.[6] Es cierto, que en la

---

\* UBA – UBACyT

Este trabajo ha sido realizado en el marco del Proyecto UBACyT “Explicación científica, causalidad y libertad”. Agradezco las sugerencias y colaboración de su Director Lic. Horacio Abeledo.

exasperante y violenta discusión entre Bohr y Schrödinger en otoño de 1925 [7], ya se encuentran los elementos que darán origen a lo que luego se conocerá como disputa entre “ortodoxos” y “heterodoxos”, pero la respuesta ante la grave dificultad: “los conceptos de la física clásica no son adecuados para representar los saltos de los quanta” no es la misma por parte de Bohr que de Heisenberg. Este último responderá con las denominadas “relaciones de incertidumbre” y Bohr, en cambio, con el principio de complementariedad. De esta manera, el *contrasentido* denunciado por Schrödinger no será resuelto por una sino por dos interpretaciones referidas a diferentes ámbitos del saber: el físico-matemático en un caso y el gnoseológico en el otro. Desde luego que ambas interpretaciones solamente cobran sentido desde convicciones que ambos físicos comparten: el supuesto de que el lenguaje intuitivo es el único lenguaje adecuado para describir los experimentos de la física, aún cuando dicho lenguaje entre en colisión al aplicarlo a los experimentos de la atomística. Esta convicción será a su vez el motivo por el cual también ambos físicos buscarán la manera de limitar los conceptos que subyacen a la física clásica para eludir dichas contradicciones y, ¿por qué no? salvarlos de sus anomalías. Pero a este objetivo, se agregará otra idea no menos importante, y es que para ellos esta teoría nunca será considerada como una hipótesis *ad hoc* sino tan fundamental como la termodinámica o la física newtoniana. Pero errados estaríamos de nuevo, si creyéramos lícito fundir sus propuestas filosóficas bajo una sola postura. No queda duda que para Bohr las relaciones de incertidumbre son una contribución valiosa a la teoría de los quanta, pero esto no significará que Werner Heisenberg no interprete, a su vez, gnoseológica y ontológicamente aquello que sucede en el nuevo ámbito.

Pareciera redundante subrayar que el vituperado principio de complementariedad de Bohr no es un principio de la física sino de la gnoseología, cuya aplicación Bohr extenderá a otros ámbitos del saber. Pero, si es así, ¿por qué en sus textos dedicará mucho más espacio a los experimentos de la atomística que a sus reflexiones gnoseológicas? Es que Bohr no se ocupará de la gnoseología en su sentido clásico sino de aquello que él mismo llamará “Filosofía natural.”[8] En su artículo “Atomphysik und menschliche Erkenntnis” de 1958, afirmará que “el significado de la ciencia física para el pensamiento filosófico general no sólo radica en su progresivo aporte al conocimiento de la naturaleza – de la cual nosotros también formamos parte – sino también y muy especialmente en que nos impulsa a revisar y afinar nuestros instrumentos conceptuales.”[9] Es en este marco que cobra sentido la frase tan citada de Heisenberg: “Bohr era ante todo un filósofo, no un físico; pero entendió que la filosofía natural en nuestros tiempos tiene peso solamente si todos sus detalles pueden ser sometidos a prueba experimental.”[10] Dicho de otra manera, Bohr se asignará la tarea de descubrir en el “campo relativamente objetivo de la física (...) problemas capaces de recordarnos una vez más las condiciones que subyacen a todo conocimiento humano (...)” [11], en otras palabras: “sacar a luz los problemas físicos y epistemológicos de la teoría atómica.” Desde luego que si no tomamos en cuenta la situación peculiar de los experimentos con la que lidiarán sus reflexiones, la *descripción complementaria* que propone en su conferencia de Como, [12] se transformaría en trivial, ya que es obvio que “las distintas disposiciones experimentales son siempre distintas.”[13] Es por eso que Bohr necesitará revisar y afinar la noción de “fenómeno” en tanto ésta se refiere a los experimentos atómicos. Más allá de la polisemia que arrastra este término, podemos acordar que, en su versión

clásica, *fenómeno* es aquello que aparece en el espacio y tiempo y se desarrolla en el marco de la causalidad, dicho en otras palabras, "objeto que se puede describir en un lenguaje intuitivo." ¿Qué sucede, en cambio, en el ámbito de los quanta? Aquí este término ya no se puede referir únicamente al objeto atómico como tal sino a una *totalidad compleja* en la que se incluyen los objetos investigados, sus instrumentos de medición y la *interacción entre ambos*. Sin ingresar en los detalles de esta cuestión, podemos, sin embargo, señalar que para Bohr este principio de complementariedad, que regiría para los fenómenos de la atomística reemplazando al principio de causalidad, no sólo permitiría la descripción racional de sus experimentos, sino también la aplicación de su tan caro *principio de correspondencia*, principio por el cual podrá afirmar que "la teoría de los quanta es una *generalización* racional de la descripción espacio-temporal de la física clásica." [14]

En síntesis, la respuesta a la pregunta - dónde ubica Bohr el problema central que da origen a su propuesta - se encuentra en su carta dirigida a Albert Einstein del 13 de abril de 1927: "Hace tiempo - escribe - se reconoce la íntima vinculación de las dificultades de la teoría de los quanta con los conceptos o mejor con las palabras que son utilizadas para la descripción habitual de la naturaleza y que tienen todas su origen en las teorías clásicas." [15] Pero el hecho de que Bohr visualice el problema del lenguaje como central para la comprensión de la teoría de los quanta, no lo obliga a proponer otro lenguaje; su expresión citada por Heisenberg en su libro *Conversaciones alrededor de física atómica*, gráfica claramente su postura: "Con el lavado de la vajilla ocurre exactamente lo mismo que con el lenguaje. Tenemos agua sucia para lavar platos y trapos sucios y, sin embargo, podemos en último término, limpiar con ellos platos y vasos. Lo mismo sucede con el lenguaje. Hay conceptos oscuros y una lógica circunscripta, de forma desconocida a su zona de aplicación y, a pesar de todo, logramos con ellos aclarar nuestra comprensión de la naturaleza." [16]

Distinto es el caso de Werner Heisenberg, para quien la teoría de los quanta no es ni una "generalización" de la física clásica ni representa una revolución en la física. En su artículo "Lenguaje y realidad en la física moderna" [17], señalará que el supuesto papel subsidiario que había jugado el lenguaje en la ciencia natural ya no correspondería a la física moderna. Su mención del aporte aristotélico - haber echado las bases del lenguaje científico con su descubrimiento de la estructura formal de la lengua, introduciendo con ello "un orden en nuestro método del habla y del pensamiento" - no es anecdótica, ya que la necesidad de aprender un nuevo lenguaje, exigencia de la teoría de los quanta, implicaría, a su vez, la aparición de una nueva forma de pensar. Desde luego, que Heisenberg no rechaza el principio heurístico de Bohr, que permite a los físicos hablar *racionalmente* de los experimentos de la atomística, y acuerda también con él, que si los físicos pretenden utilizar un lenguaje más preciso "tendrán que conformarse con el esquema matemático y su evidente correlación con los hechos experimentales." Pero, ¿qué sucede si se pretende hablar de la estructura misma del átomo? Heisenberg ingresa al ámbito ontológico tomando en cuenta las investigaciones lógicas iniciadas por Birkhoff, von Neumann y retomadas por Friederich von Weiszäcker. Y si bien, en sus reflexiones, solamente cita a la lógica cuántica - dejando incluso abierta su sustentabilidad - se ocupará de darle un contenido al nuevo molde lógico que limita a la lógica clásica. Para explicar esta limitación, que no es otra que la limitación del principio del tercero excluido, se referirá a la

relación biunívoca que existe en la lógica clásica entre la verdad o falsedad de los diferentes niveles del lenguaje, léase: “el átomo está en la mitad izquierda de la caja” y “es verdad que el átomo está en la mitad izquierda de la caja” y, su diferencia, con el molde lógico de la complementariedad, para el cual la verdad o falsedad de la primera afirmación implica la verdad o falsedad de la segunda, pero la falsedad de la segunda no implica la falsedad de la primera, “porque puede estar sin decidirse si el átomo está en la mitad izquierda.” Y, a continuación aclara: “Sin decidirse no significa “no conocido”; lo no decidido indica una situación que solamente puede expresarse por una afirmación complementaria y afirmación complementaria es toda afirmación que no es idéntica a una de las dos afirmaciones alternativas.”[18] Pero, más allá del acierto de su propuesta, ¿reemplazaría acaso Heisenberg la noción de “realidad” por la de “ausencia de realidad” para convertir al “observador” en un “mago evocador de los fenómenos de escala atómica”? Semejante calificación surge a raíz de proponer una categoría extraña a la ontología que subyace a la física clásica, y que es la noción de potencia como “tendencia objetiva en un sentido aristotélico.” Ahora bien, esta inclusión, Heisenberg no la justifica solamente por considerar que potencia es aquello que los físicos tienen en la mente cuando hablan sobre los acontecimientos atómicos, sino porque representaría, en su versión cuantitativa, aquello a que aluden las leyes de la teoría de los quanta. ¿Por qué? Porque, al suponer que a los moldes modificados de la lógica clásica le corresponde una *situación natural*, ésta no podría consistir nunca en un hecho o cosa sino más bien en potencialidades coexistentes, dado que solamente una “potencialidad puede cruzarse con otras potencialidades.”[19] No cabe duda, que el uso que Heisenberg hace del término “realidad” y “real”, los convierte en términos ambiguos, pero si examinamos la particularidad de su pensamiento, expresada en la totalidad de sus escritos, la frase con la que finaliza el capítulo 10 de *Física y Filosofía*, no la traduciríamos como lo hace Fausto de Tezanos Pinto: “Pero los átomos o las partículas elementales no son tan reales” (como los hechos o las cosas) [20] sino: “Pero los átomos o las partículas elementales no son del mismo modo [*ebenso*] reales.”[21] ¿De qué modo son pues reales? En “Lenguaje y realidad en la física moderna” de 1960 se encuentra la respuesta en tanto distingue el concepto de realidad objetiva material de una realidad subjetiva no material, afirmando que la probabilidad cuántica representa una mezcla entre ambas realidades, ya que por un lado tiene carácter objetivo “aunque, si se la quiere interpretar como frecuencia, ésta significará solamente la frecuencia de una totalidad pensada.” La pregunta es si esta caracterización habilita a endilgarle la idea de que con la noción de potencia se referirá a “un cierto estado interno de conciencia capaz de decidir qué parte de lo posible se transforma en real.” [22] Es cierto que Heisenberg dirá que “el tránsito de lo posible a lo real (*actual* sería el término para eludir los malentendidos) imposible de ser omitido en la teoría de los quanta, se corresponde con el *observador*, pero también subrayará reiteradamente que la función de este observador es “registrar procesos espacio-temporales”, dejando en claro “que no se relaciona con el acto de registrar el resultado en la *mente* del observador.”[23] Llegado a este punto resulta interesante señalar el caso de un intérprete de la “interpretación de Copenhague”, como lo es Fritz Rohrlich, quien después de afirmar que esta interpretación “nunca ha sido expresada enteramente por escrito por sus inventores”, dirá, sin embargo, que Heisenberg al proponer la idea de potencia “*creía* que se mantenía en la línea de la interpretación de Copenhague”, dando por sentado que esta interpretación afirmaba que la realidad era una

realidad creada o ficticia.[24] En ningún escrito de Heisenberg leemos que el ámbito de la naturaleza que descubre la teoría de los quanta es creado, muy por el contrario, dejará en claro que “las grandes “interrelaciones” o “simetrías” que pone al descubierto la matemática de la teoría de los quanta son aquellas que “sin nosotros han existido y que con absoluta evidencia no han sido hechas por el hombre.” Pero, acaso, ¿lo afirmaría Niels Bohr? Si examinamos el pasaje que ha servido para tildarlo de instrumentalista: “El objeto de nuestra descripción de la naturaleza no es tanto discernir la esencia real de los fenómenos como buscar y encontrar, hasta tan lejos sea posible, relaciones entre los variados aspectos de nuestra experiencia” [25], no encontramos argumento suficiente para semejante interpretación, ya que nada nos dice acerca del status ontológico que le confiere a estas relaciones. Y, ante la pregunta puntual que le formula Wolfgang Pauli, en su diálogo llevado a cabo en 1952 - ¿si piensa que la física no consiste solamente de experimentos y mediciones, por un lado, y en formulas matemáticas, por otro? - Bohr responderá que sospecha que “(...) todas las dificultades para comprender la teoría de los quanta habrían surgido de este enlace, que los positivistas, por regla general, pasan por alto” [26], pero que él, en definitiva, tampoco examinará. Es probable que su esfuerzo por no incursionar en el terreno ontológico y mantenerse estrictamente en el gnoseológico, le haya valido la acusación de “idealista”. Pero en este caso también podemos preguntar si la incorporación del sujeto de conocimiento en el tema del conocimiento, supone *per se* una postura idealista. Para Bohr, la teoría de los quanta parte de una legitimidad externa, ajena a los “deseos de cualquier individuo”, y su preocupación por la imposibilidad de aprehender por medio de los conceptos intuitivos lo que sucede en la estructura del átomo revelaría más bien lo contrario de lo que se le atribuye, porque la limitación no estaría dada por el sujeto sino “por la naturaleza misma”, siendo la mecánica de los quanta la que la establecería en su formulación. En palabras del propio Bohr: “El límite que la naturaleza misma nos ha impuesto respecto de la posibilidad de hablar de los fenómenos como algo existente objetivamente encuentra su expresión, en la medida en la que la podamos establecer, justo en la formulación de la mecánica cuántica.” [27]

Desde luego que el examen de la prosa de Bohr y Heisenberg revela deslizamientos que explicarían el origen de los malentendidos y equívocos, pero también es cierto que éstos son reiteradamente denunciados por sus autores. La pregunta es, entonces, ¿por qué su persistencia a lo largo de casi 100 años de historia? Podemos sospechar que la imposibilidad de los intérpretes para entenderse con sus textos pudo haberse debido a que estas malformaciones habrían servido de fundamento para sostener posturas diametralmente opuestas: por un lado, aquella que se conoce bajo el nombre de *New Age*, amparada en la autorización de pensar de acuerdo a algunos físicos, y la otra, suponiendo que la refutación o descalificación de una interpretación es prueba suficiente para sostener la propia. Por último, queremos subrayar que las dificultades inherentes para comprender la interpretación de ambos físicos queda expresada en el pasaje del texto de Heisenberg “Die Entwicklung der Deutung der Quantentheorie”: “Aquello que ha nacido en Copenhague en 1927 (...) no es solamente una inequívoca prescripción para interpretar los experimentos, sino un lenguaje en el que se habla de la naturaleza en el ámbito de lo atómico y, como tal, sería una parte de la filosofía.” Y, refiriéndose a Bohr, agrega: “Pero este lenguaje no era el de las diferentes direcciones de la filosofía tradicional: positivismo, materialismo,

idealismo; sino que, en su sustancia, era otra cosa, en tanto contenía en sí elementos de todos estos sistemas de pensamiento.”[28]

En síntesis, contrarios a la postura que sostiene que las interpretaciones de Bohr y Heisenberg no tienen más que un interés histórico, sostenemos que su aparente eclecticismo, lejos de indicar incoherencias, resulta ser un desafío para pensar la ciencia sin caer, en lo posible, en los paradigmas contrapuestos que han signado las discusiones epistemológicas de la última mitad del siglo XX. Dentro de este encuadre seguiremos examinando nociones claves como “libre arbitrio” y “realidad.”

## Notas

- [1] Einstein, A., Born, Heisenberg und Max, *Briefwechsel 1916-1955*, München, Nymphenburg, 1969, pág. 304.
- [2] Stapp, H. P. “The Copenhagen Interpretation” *Am. J. of Phys.* 40, 1089, 1972.
- [3] French A. P. y Kennedy P. J. eds. *Niels Bohr. A centenary volume*, Harvard U.P. Cambridge, Massachusetts, 1985.
- [4] Lakatos, Imre, “La falsación y la metodología de los programas de investigación científica” en *La crítica y el desarrollo del conocimiento*, eds. I. Lakatos y A. Musgrave, 1965.
- [5] Heisenberg, Werner, *Física y Filosofía*, Buenos Aires, La isla, 1959; “La interpretación de Copenhague de la teoría cuántica” y “Crítica y contraposiciones a la interpretación de Copenhague” respectivamente.
- [6] Stolzenburg, Klaus, “Physik und Erkenntnistheorie” en *Der Kopenhagener Geist in der Physik*, eds. V. Meyen, Stolzenburg, Sexl, Braunschweig, Vieweg & Sohn, 1985, pág. 139.
- [7] Heisenberg, Werner, *Diálogos sobre la física atómica*, Méjico, Universidad Autónoma de Méjico, 1988.
- [8] Bohr, Niels, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, Madrid, Alianza, 1988, Prefacio de 1961, pág. 51.
- [9] Bohr, Niels, “Atomphysik und menschliche Erkenntnis”, Braunschweig, 1958.
- [10] Heisenberg, Werner, “Quantum Theory and Its Interpretation” en *Niels Bohr. His Life and Work as Seen by His Friends*, eds. S. Rozental, Amsterdam North-Holland, 1967, pág.95. Traducción del pasaje de Horacio Abeledo.
- [11] Bohr, Niels, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, op. cit. pag. 68.
- [12] La noción de complementariedad en Niels Bohr ha sido objeto de múltiples exámenes por su complejidad. En este caso, nos remitimos solamente a su Introducción de 1929 hecha para su Conferencia de Como de 1927, donde afirma que “(…) la descripción complementaria (es una descripción) en el sentido de que en ella toda aplicación de los conceptos clásicos excluye el uso simultáneo de otros conceptos clásicos igualmente necesarios en otras circunstancias para la elucidación de los fenómenos.” Bohr, Niels, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, op. cit. pag. 59.
- [13] Popper, Karl, *La teoría cuántica y el cisma en física*, Madrid, Tecnos, 1983, pág. 171.
- [14] Bohr, Niels, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, op. cit. pág. 129.
- [15] Stolzenburg, Klaus, “Physik und Erkenntnistheorie” en *Der Kopenhagener Geist in der Physik*, op. cit. pág. 150.
- [16] Heisenberg, Werner, *Dialogos sobre la física atómica*, op. cit. pag. 171.
- [17] Heisenberg, Werner, “Sprache und Wirklichkeit in der modernen Physik” en *Gestalt und Gedanke*, Band 6, München: R. Oldenbourg, 1960. Versión sustancialmente modificada del capítulo 10 de *Física y Filosofía*, op. cit.
- [18] *Ibid.*, pág. 57/58.
- [19] *Ibid.*
- [20] Heisenberg, Werner, *Física y Filosofía*, op. cit., pág. 158.
- [21] Heisenberg, Werner, *Physik und Philosophie*, S. Hirzel, Stuttgart, 1959, pág. 180.
- [22] Heisenberg, Werner, *Física y Filosofía*, op. cit. pág. 157.
- [23] *Ibid.* pág. 39/114.
- [24] Rohrich, Fritz, “Las interacciones ciencia-sociedad a la luz de la mecánica cuántica y de su interpretación” en *El siglo de la Física*, Barcelona, Tusquets, 1992, pág.133/135/147.
- [25] Melgar Ferrero, Miguel, Prólogo a *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, op. cit. pág. 43.
- [26] Heisenberg, Werner, *Dialogos sobre la física atómica*, op. cit. pág. 258.
- [27] Bohr, Niels, *La teoría atómica y la descripción de la naturaleza*, op. cit., pág. 153.
- [28] Heisenberg, Werner, “Die Entwicklung der Deutung der Quantentheorie”, *Physikalische Blätter* 12, 1956, pág. 293.