

# EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS VI JORNADAS  
(1996)

Marisa Velasco  
Aarón Saal  
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



## FORMALISMO Y MEDICION EN FISICA CUANTICA: ¿MODO SENSORIAL O MODELO CONCEPTUAL?

### § 1. Introducción

Desde que a comienzos de los años 30, N. Bohr, W. Heisenberg, J. von Neumann y otros, establecieron los principios fundamentales de la Física Cuántica, muchas de sus consecuencias ontológicas y epistemológicas han preocupado tanto a filósofos como a científicos. Algunos, como Heisenberg, llegaron a considerar que ella ha transformado radicalmente nuestra imagen de la naturaleza. Entre estas consecuencias, debe mencionarse la interpretación de los procesos de medición de magnitudes cuánticas y su presunto efecto: la negación de la tesis realista según la cual las propiedades mensurables de un sistema físico son independientes del observador y del aparato de medición utilizado. En efecto, a raíz de las perturbaciones incontrolables e impredecibles que el aparato produce en el fenómeno estudiado, la interpretación standard del formalismo de la teoría cuántica, conocida también como "Escuela de Copenhage" que fue liderada por la autoridad indiscutida de Niels Bohr, asumió la doctrina -escandalosa para un realista- de que hay propiedades físicas que no pueden ser atribuidas a los objetos cuando no se los observa, sino que vienen a la existencia solamente por el proceso de la observación y la medida. De esta forma, dejaban la puerta abierta a la intromisión del sujeto en el estudio de la naturaleza. Esta era la primera vez que una posición filosófica antirrealista era adoptada por una comunidad de científicos, no en razón de motivaciones ideológicas, o por la presión de algún otro factor externo a la ciencia, sino como una exigencia que se derivaba directamente de la propia teoría. La mayor parte de los físicos contemporáneos, con excepción de Einstein, Schrödinger y otros, adhirieron a la interpretación standard debido al éxito espectacular de sus aplicaciones prácticas y -al decir de Popper- sin tener conciencia cabal de que, con ello, estaban adoptando una teoría filosófica.<sup>2</sup>

En los últimos tiempos, se han ofrecido interpretaciones alternativas del formalismo de la mecánica cuántica, las que -en algunos casos- son compatibles con el realismo científico y en otros, dan apoyo a la interpretación standard. Entre estas últimas figura el trabajo de G. Szamosi donde se ofrece una explicación racional de la tesis

---

1 HEISENBERG, W [1993], pág. 8.

2 POPPER, K. [1980], "Tres concepciones del conocimiento humano", pág. 133.

antirrealista, desde el marco teórico de la Epistemología Naturalizada. El presente trabajo se propone señalar algunos problemas que constituyen -a mi criterio- dificultades serias para el logro de los objetivos enunciados por Szamosi

## § 2. La dicotomía clásico-cuántico

En el artículo "Naturalizando la interpretación de Copenhagen", Szamosi analiza el fenómeno de la medición cuántica con conceptos tomados de la Biología y la Epistemología Evolutivas. Su punto de partida es que el conocimiento de las características del mundo exterior es el resultado de la evolución natural de los organismos vivos, con fines adaptativos. En el caso particular de los seres humanos, esta evolución ha sido tanto genética como cultural; en cualquier caso, el sistema nervioso, a través de mecanismos computacionales diferenciados, desempeñó un rol determinante en la formación de las representaciones internas que forjamos acerca del mundo. Teniendo en cuenta, pues, la perspectiva biológica y evolutiva, el autor analiza dos experimentos de medición, uno cuántico y el otro clásico. El primero consiste en medir la orientación de una de las componentes del spin de una partícula (supongamos que se trate de un electrón). Antes del experimento, la partícula se encuentra en un estado de superposición de estados up y down. Supongamos que al medir, encontramos que el spin tiene componente down, esto se debe al efecto producido por la medición. Una vez finalizado el experimento, la partícula vuelve a estar en un estado de superposición. Esta transición desde el estado de superposición a un estado de sentido preciso (down, en nuestro caso), se denomina "colapso de función de onda".

El experimento clásico consiste en determinar el tamaño y la distancia a que se encuentra una pelota blanca macroscópica, por ejemplo una bola de billar, respecto de un observador. Las condiciones de la experiencia son tales que quien la observa no puede determinar con exactitud si tiene ante sí una bola grande a la distancia, o una pequeña muy cercana. Supongamos que el observador puede decidir la cuestión mediante el tacto. Cuando lo hace, constata que la pelota es pequeña y está cerca.

Parece evidente que las semejanzas entre estas dos mediciones son superficiales mientras que sus desemejanzas son profundas. En el experimento del electrón se hace referencia a una superposición de estados y -a fin de explicar la dirección final del spin fijada por el experimento- la teoría introduce el concepto de "colapso de función de onda". Ninguna de estas nociones interviene en el experimento de la bola de billar, ni tendría sentido invocarlas. No obstante, se puede reconocer una diferencia esencial. En el experimento clásico, la distancia y el tamaño de la pelota blanca son consideradas propiedades objetivas de la bola de billar, que ésta poseía antes, durante y después del experimento. Esta situación no tiene análogo en el caso de la partícula elemental, así es como se llega a la negación del realismo en la interpretación standard. Heisenberg expresa la tesis en los siguientes términos:

"A los constituyentes elementales de la materia a los entes que un día se concibieron como la última realidad objetiva, no podemos de ningún modo llamarlos "en sí", se escalifica la idea de la determinación objetiva de espacio y tiempo, de modo

que en último término nos vemos forzados a tomar como único objeto de la ciencia a nuestro propio conocimiento de aquellas partículas"<sup>3</sup>

En última instancia, los experimentos nos han enfrentado a un problema filosófico que puede ser sintetizado, de acuerdo con la propuesta de Szamosi, en una demarcación ontológica: la dicotomía objeto clásico/objeto cuántico. Bien mirado, las diferencias anotadas se deben a que el electrón es un objeto cuántico mientras que la bola de billar es un objeto clásico, así al menos lo admite la Física. Pero la Física, que posee leyes diferentes para unos y otros, no suministra un criterio para la distinción. Szamosi concluye de allí que la interpretación standard de la medición cuántica "ha sido construida de manera adyacente, pero fuera del reino de la Física"<sup>4</sup>. En consonancia con esta afirmación, propone buscar los orígenes de la dicotomía en los procesos neurofisiológicos y computacionales realizados por el sistema nervioso central para el procesamiento de la información. A fin de dar cuenta de estos hechos, debe recurrirse a las leyes de la evolución biológica que no admiten ser íntegramente "derivadas de" ni "reducidas a" las leyes de la Física:

"Aun así [las leyes biológicas] son relevantes para discutir los orígenes de la dicotomía clásico-cuántico por la bastante obvia razón de que, ya que tal dicotomía no puede existir en el mundo externo, debe originarse en los modos de trabajar de nuestro sistema nervioso"<sup>5</sup>

### § 3. La Cosmología Mamífera

Al comienzo del artículo, Szamosi enuncia dos objetivos: Con ayuda de las leyes de la Biología y la Epistemología Evolutivas. a) Explicar por qué la interpretación de Bohr-Heisenberg debe asumir la conclusión de que ciertas propiedades mensurables de un sistema físico dependen del observador, y

b) Demostrar que esta conclusión puede evitarse.

A lo largo de cientos de millones de años, la especie humana ha evolucionado genética y culturalmente en cuanto al modo de obtener conocimientos del mundo exterior. No solamente los órganos sensoriales se han desarrollado estructural y funcionalmente, sino que además evolucionaron los algoritmos computacionales efectuados por las células nerviosas. Como resultado, las representaciones internas acerca del mundo fueron generando respuestas conductuales cada vez más adaptadas y eficaces. En el estado actual de la especie, Szamosi cree que pueden identificarse claramente dos formas o aproximaciones básicas en la adquisición de conocimientos de la realidad. Una de ellas, la más antigua y firmemente arraigada, la denomina "modo mamífero", la segunda -de origen reciente y evolución eminentemente cultural- está representada por el "modo cuántico".

---

3 HEISENBERG, W [1993], pág. 20

4 SZAMOSI, G [1993], pág. 308

5 SZAMOSI, G [1993], pág. 309

El esquema mamífero ha originado un conjunto de creencias o teorías que conforman la "cosmología mamífera", cuyo efecto adaptativo más importante es brindar una visión coherente y unificada de la realidad, en contraste con la multiplicidad y heterogeneidad de los estímulos exteriores. Entre las creencias mamíferas más relevantes están las siguientes.

- . Los objetos físicos se conservan en el espacio y en el tiempo.
- . Su aparición y desaparición no depende del observador.
- . Tienen individualidad, están separados unos de otros por límites definidos.
- . Se mueven siguiendo trayectorias continuas.
- . Muestran un comportamiento regular provocando en nosotros cierta expectativa que llamamos "causalidad"

La cosmología mamífera se halla reforzada por el lenguaje ordinario, cuya estructura ha evolucionado de manera paralela hasta hacerse compatible con las representaciones internas. El rasgo más importante de esta cosmología es el papel protagónico desempeñado por la percepción visual en la constitución del conocimiento.

El segundo modo cognitivo es el formalismo matemático de la mecánica cuántica; éste es comparable a los algoritmos neuronales asociados a la visión. Aunque Szamosi no lo dice explícitamente, puede presumirse que el modo cuántico es el núcleo de una cosmología no mamífera, cuyas creencias acerca de objetos físicos son incompatibles con sus análogas mamíferas. Esto es así, pues las partículas elementales no poseen individualidad, no se conservan en el espacio ni en el tiempo, no se desplazan siguiendo trayectorias continuas, no admiten los atributos de mismidad o alteridad ni se comportan de acuerdo con leyes causales y determinísticas. A pesar de estas incompatibilidades, Szamosi propone similitudes sorprendentes: Cada una de las constelaciones de creencias se funda, respectivamente, en dos modos sensoriales básicos: el modo sensorial visual y el modo sensorial cuántico. El fundamento del paralelo reside en los algoritmos computacionales que procesan la información. En un caso (el visual) éstos son neuronales y han evolucionado genéticamente; en la medición cuántica, son matemáticos y de aparición reciente en la escala de la evolución.

"La justificación de esta aserción es que ambos algoritmos computacionales están haciendo lo mismo: recibiendo información del mundo externo en patrones cuantitativos y construyendo representaciones adaptativas de ese mundo."<sup>6</sup>

A Szamosi le interesa destacar dos cuestiones. 1) El formalismo matemático de la mecánica cuántica es una parte inseparable del proceso de medición cuántica, del mismo modo que los algoritmos nerviosos forman parte constitutiva de la visión. 2) El uso de la matemática en la medición cuántica es un modo de percepción que nos permite conocer ciertas propiedades del mundo exterior. Aunque asombrosa, no parece que esta afirmación deba tomarse en sentido metafórico, pues el autor dice explícitamente.

"En otras palabras, el uso del formalismo matemático de la mecánica cuántica nos permite percibir aspectos del mundo exterior. También asumimos, con el mismo espíritu, que este tipo de percepción es análogo a aquel en el cual las magnitudes del fotón sirven como inputs, y producen estados mentales cognitivos que corresponden igualmente a creencias bien definidas (pero más familiares) acerca del mundo"<sup>7</sup>

Volvamos ahora a nuestros experimentos de medición cuántica y clásica, Szamosi puede explicar la interpretación standard a la luz de sus elucidaciones naturalizadas. La cosmología mamífera, subyacente en la interpretación standard, está pertrechada solamente para dar cuenta de propiedades de objetos clásicos como las bolas de billar. Ninguna de las creencias perceptuales que comporta es apta para entender el experimento del spin; en consecuencia declara la negación del realismo. Pero la Epistemología Evolutiva nos ha develado dónde se originan los supuestos realistas que sustentamos acerca del mundo.

"Podemos decir que la certeza acerca de la existencia independiente de la pelota es el resultado de nuestra entera historia evolutiva, es decir nuestra historia genética y cultural, así como también onto y filogenética"<sup>8</sup>

Las perplejidades que motivaron la interpretación de Copenhagen se deben a que todavía no se ha producido una integración entre el novísimo modo sensorial cuántico y el resto de las facultades humanas. A diferencia de lo que sucede con el modo visual, que se integró con los demás sentidos (como lo demuestra el experimento de la bola de billar), el modo cuántico permanece completamente desconectado. A juicio de Szamosi, el concepto de colapso de función de onda se introdujo con el solo propósito de establecer un puente entre los dos modos. Pero se trata de un recurso puramente simbólico, que se inserta de manera artificial, conminando al modo cuántico a dar una respuesta (valor preciso de una magnitud) a una pregunta formulada en el lenguaje mamífero.

#### § 4. El formalismo matemático como modelo teórico

No cuestionaré el intento de ofrecer una explicación del problema desde el punto de vista de la Epistemología Evolutiva, solamente evaluaré algunos rasgos de la posición de Szamosi que parecen poco convincentes. En primer lugar, analizaré la pertinencia del uso de la dicotomía cuántico/clásico en este contexto. En principio, no todos los autores ven en ella una distinción útil. Hanson la considera engañosa, resultado de una comparación inadecuada que "sólo parece anómala cuando se le impone un contraste engañoso con la física clásica de los textos"<sup>9</sup> Las extrañezas que produce en los físicos contemporáneos son semejantes a las que debieron acosar a Galileo, Kepler o Newton cuando lidiaban con la aceleración, las órbitas no circulares o la gravedad, respectivamente. Concedido, aun así, creo que la dicotomía puede mantenerse con fines

---

7 SZAMOSI, G [1993], pág. 318. El remarcado es mío.

8 SZAMOSI, G [1993], pág. 312

9 HANSON, N [1985], pág. 229

explicativos, pero ¿debe situarse fuera del campo de la Física, como si la Física no tuviera nada que decir al respecto? Después de todo, es una distinción que se aplica a la materia, colocarla en las "adyacencias" de la Física es como declarar que las diferencias entre los organismos vivos y las cosas inanimadas no constituyen una distinción natural ni corresponden al estudio de la Biología. Szamosi ve la integración de los dos modos de conocimiento como un ideal deseable. Si finalmente se lograra la disolución de la dicotomía por una unificación-reducción teórica, ésta sería la obra de la ciencia física, no de la Filosofía ni de la Epistemología Naturalizada. Al igual que ocurre con otras nociones científicas, la de objeto cuántico puede ser elucidada mediante una reflexión filosófica, sea ontológica, epistemológica o semántica, pero debe admitirse que siempre sería una reflexión de segundo nivel.

El segundo punto y el más importante se refiere a la interpretación del formalismo matemático de la medición cuántica como un modo sensorial. Tal vez éste sea el aspecto menos convincente del artículo de Szamosi, porque plantea la paradoja de proponer un esquema cognitivo sensorial para la comprensión de objetos que son irrepresentables por definición. En efecto, los físicos cuánticos recomiendan no formar imágenes de las partículas elementales, pues representárselas pictóricamente es privarse de lo que se necesita para explicar y predecir las propiedades macrofísicas de los cuerpos. Dirac, por ejemplo, dice:

"El objetivo principal de la ciencia física no es la provisión de imágenes sino la formulación de leyes...el que exista o no una imagen sólo es una cuestión de importancia secundaria...Se debe proceder a construir una teoría matemática exacta, sin disponer de una imagen clásica detallada"<sup>10</sup>

Pero Szamosi insiste en el paralelo entre los modos visual y cuántico y espera una integración sensorial que un día disolverá la dicotomía, probablemente tratando los objetos macroscópico al estilo cuántico:

"Si tales experimentos pudieran llevarse a cabo y algunos aspectos de la existencia del modo cuántico se hicieran accesibles a los sentidos normales, ello podría conducirnos a un proceso de integración sensorial "genuino", o al menos, más efectivo, y a una nueva comprensión del mundo microfísico"<sup>11</sup>

En esta intención muestra un apego exagerado (creo yo) a la cosmología mamífera, lo cual se revela en la tentación (instintiva) de conservar un esquema pictórico para comprender las propiedades de la materia. En síntesis, Szamosi establece la analogía mediante un paralelismo según el cual, en el caso del modo visual el componente computacional corresponde a los mecanismos neuronales; mientras que en el modo cuántico el componente computacional se identifica con el formalismo matemático. Se ve que esta analogía no alcanza para concluir que ambos modos de conocimiento son, en última instancia, de la misma naturaleza. Aun aceptando que pudiera hacerse una

---

10. DIRAC, Quantum Mechanics, cit. en HANSON, N [1985], p. 242

11. SZAMOSI, G [1993], pág. 324

analogía, queda lugar para una diferencia esencial. El formalismo de la mecánica cuántica es parte inseparable de una teoría científica. Tener una teoría es tener un modelo conceptual que hace inteligibles los fenómenos. Las partículas descritas matemáticamente deben tener las propiedades que se requieren para explicar lo observado. Por otra parte, una teoría científica tiene otros componentes además de los que corresponden a los algoritmos matemáticos. Incluye también la evidencia empírica disponible, un conjunto de teorías auxiliares -sean presupuestas, observacionales o de los instrumentos de medición- supuestos metafísicos, valores epistémicos como la simplicidad, la coherencia interna y el poder explicativo, elementos convencionales y decisiones metodológicas. En definitiva, el investigador cuántico debe proceder como sus colegas clásicos, es decir, tiene que contrastar el complejo teórico con el objeto de comprobar si los hechos encajan en el modelo conceptual trazado. Así, pues, afirma Popper:

"El papel que en la física moderna desempeña el sujeto que observa no es en absoluto distinto del que desempeñaba en la dinámica de Newton o en la teoría de Maxwell del campo eléctrico: el observador es esencialmente el que contrasta la teoría. Para ello precisa un montón de teorías distintas, teorías rivales y auxiliares lo cual muestra que no somos, tanto observadores como pensadores"<sup>12</sup>

Por todo ello, parece abusivo y en exceso simplificador, extender la noción de percepción del primero al segundo tipo de conocimiento.

En segundo lugar, el uso de algoritmos matemáticos no es exclusivo del conocimiento cuántico. Las teorías clásicas también lo incorporan como parte inseparable de su estructura, y en algunos casos debieron producir las mismas resistencias que hoy causan los hallazgos de la física cuántica. En este sentido, no parece que la armonía postulada por Szamosi entre el formalismo matemático, la física clásica y el lenguaje ordinario, haya sido un hecho espontáneo y natural. Al respecto cabe recordar las incertidumbres y confusiones que produjo al propio Newton su hipótesis sobre la acción a distancia. Estos aspectos que hoy aparecen armoniosamente integrados, debieron resultar revolucionarios y antiintuitivos a los científicos de la época.

Hay además otro rasgo que vuelve engañosa la dicotomía modo visual-modo cuántico, y reside justamente en lo que ambos tienen de común: el rol de los algoritmos computacionales. Mientras que en el caso de la visión, éstos son todo lo que se necesita para procesar los inputs fotónicos y producir la imagen visual, en el caso de los algoritmos matemáticos, no bastan. Szamosi parece desconocer el componente de creatividad que guía el formalismo en la búsqueda conceptual, búsqueda que persigue una meta precisa: explicar y predecir, ajustando la teoría a los fenómenos. Estos procesos, que podrían llamarse con derecho "pensamiento racional", difícilmente admitan ser reducidos a la percepción visual. Dejando de lado el problema colateral, pero igualmente importante, de si la percepción puede verse como un modo puramente sensorial o de si ésta es otra noción confusa de Szamosi, mi propósito es resaltar que la teoría de la medición cuántica debe

---

12. POPPER, K. [1982], pág. 276



verse como un modelo conceptual y que, en este sentido, no es diferente de otras teorías que, en su momento, requirieron de nuevas categorías ontológicas para lograr un conocimiento más ajustado de la naturaleza y -de este modo- hacer más eficaz y adaptada nuestra supervivencia en el mundo.

## BIBLIOGRAFIA

- DE LA TORRE, C [1992]. Física Cuántica para filósofos, México, FCE
- FEYNMAN, R. [1989] Física, México, Addison-Wesley Iberoamericana.
- HANSON, N. [1985] Patrones de descubrimiento. Observación y explicación., Madrid, Alianza.
- HEISENBERG, W. [1994]. La imagen de la naturaleza en la física actual, Barcelona, Planeta-Agostini.
- POPPER, K. [1983] "Tres concepciones sobre el conocimiento humano" en Conjeturas y Refutaciones, Barcelona, Paidós
- [1982] Conocimiento Objetivo, Madrid, Tecnos
- [1994] Búsqueda sin término, Madrid, Tecnos.
- SZAMOSI, G [1993] "Naturalizing the Copenhagen Interpretation", DIALECTICA, 47, N° 4, 305/325.