

CRITERIOS DE ESCOGENCIA EN LA CONSTRUCCION DEL CONOCIMIENTO CIENTIFICO

(El Caso de la Mecánica Cuántica)

Marcello Cini

Traducción de Rodrigo de la Ossa

1. La línea divisoria entre la ciencia y otras pretensiones del conocimiento.

En la actualidad la afirmación de que el crecimiento del conocimiento científico no es un proceso lineal acumulativo, es casi trivial. Pero la opinión menos obvia de que una línea clara no puede trazarse para dividir la reconstrucción racional de la realidad elaborada por la ciencia, según medios de procedimiento puramente lógico, firmemente fundamentado en datos de los hechos, de otras clases de creencias basadas en experiencias individuales y colectivas dejando más o menos espacio para factores irracionales y subjetivos, tampoco esta opinión puede considerarse no convencional como se solía hacer hasta hace poco tiempo.

En palabras de Michael Mulkay, el sociólogo de la ciencia británico: "Se ha demostrado que las proposiciones de hechos dependen de supuestos especulativos, que la observación está guiada por categorías lingüísticas, y que la aceptación de las pretensiones del conocimiento implican criterios indeterminados variables. Todo esto indica que el mundo físico puede ser analizado por medio de lenguajes y premisas totalmente diferentes de aquellas que utiliza la comunidad científica moderna. Por lo tanto, en el mundo físico no hay nada que determine de manera *única* las conclusiones de dicha comunidad"¹.

Durante muchos años he intentado propagar ideas similares. Por lo tanto aprovecharé esta oportunidad para ilustrar mi versión personal de dicha

afirmación general y para sugerir la posibilidad de convertir su carácter negativo en un argumento positivo sobre la naturaleza del proceso de construcción del conocimiento científico.

Para aclarar la cuestión me permitiré insistir en que no niego que la ciencia reproduce las conexiones existentes entre los rasgos objetivos del pedazo de realidad cuyo conocimiento se busca. Mi afirmación es que lo hace sólo dentro de un marco interpretativo inventado por el sujeto que realiza tal actividad cognoscitiva. Por lo tanto el resultado no puede verse como si fuera una pura reflexión de las propiedades del objeto, sino que siempre reproduce una relación cuya forma nos conduce hacia el papel activo del sujeto, a pesar de la exactitud del retrato del objeto, no importa lo abundante y preciso que puedan ser sus detalles.

La sabiduría tradicional admite algunas veces que éste es el caso, pero agrega inmediatamente que es posible, y ciertamente necesario borrar todas las huellas marcadas por el sujeto, logrando de esta manera el conocimiento objetivo, a condición de que en la valoración del valor de la verdad de las proposiciones sobre los hechos se sigan reglas universales definidas.

Mi opinión, por el contrario, es que estas reglas no son ni universales ni están dadas de una vez por todas, sino que más bien dependen fuertemente de las tradiciones culturales y del entorno social. Esto significa, por lo tanto, que incluso cuando una nueva contribución científica, después de haber sido escrutada a la luz de las reglas aceptadas, se ha reconocido como conocimiento válido, no podemos pretender que las "impurezas" subjetivas de la actividad cognoscitiva se hayan eliminado por

1. M. Mulkay: *Scienza e sociologia della Conoscenza*, Ed. Comunità, Milano (1981) pág. 88.

medio del cedazo de la racionalidad abstracta. El reconocimiento de validez significa simplemente que la contribución aceptada se ajusta a los parámetros establecidos por el sujeto social llamado a realizar la tarea.

2. El Sujeto del Conocimiento Científico

A primera vista la declaración de tal relativismo epistemológico parece una derrota de la razón humana. De hecho, visto desde el lado convencional, significa no sólo que el conocimiento nunca puede ser absoluto, sino que tampoco hay garantía de que reproduzca al objeto "tal como es" con creciente fidelidad.

Por otra parte, este inconveniente tiene sus ventajas. Visto desde el lado no convencional significa que nadie puede aprender cosas interesantes sobre las ideas del sujeto de conocimiento científico, al observar con cuidado sus productos científicos. Para hacerlo, no obstante, se debe ser muy cuidadoso cuando se habla sobre "el sujeto". Es necesario hacer una distinción entre el científico como individuo y la comunidad a la que pertenece. Esto se ajusta a las recomendaciones metodológicas formuladas por G. Bateson en conformidad con la clasificación de los tipos lógicos de Russell, a saber: "Hay un profundo abismo entre las afirmaciones sobre un individuo no identificado y las afirmaciones sobre una clase. Tales afirmaciones son de diferente tipo lógico y las predicciones de una a otra siempre son inciertas"².

La distinción corresponde a dos momentos diferentes en el proceso de crecimiento del conocimiento científico. El primer momento verdaderamente individual es el de la invención, el momento de la elaboración de una nueva teoría aceptada o de su refutación; es decir, el momento cuando se formula una propuesta como innovación en el cuerpo de un conocimiento aceptado. El segundo momento se refiere a la evaluación de esta propuesta por parte de la comunidad científica y su aceptación o rechazo final.

La innovación siempre genera un cambio en las reglas del juego; por pretender que ciertos hechos son irrelevantes para otros hechos determinados; por descubrir analogías entre grupos de fenómenos hasta entonces considerados como no relacio-

nados; por inventar nuevos conceptos para explicar conjuntos de información empírica ya conocida; por eliminar problemas no resueltos como seudoproblemas, o por convertir en preguntas, proposiciones hasta entonces consideradas como de conocimiento público.

Muy bien puede ser que la idea de autor para la innovación se haya originado en ciertas analogías y estímulos que son externos a su disciplina, o en sus convicciones metafísicas; no obstante, la reconstrucción de este proceso mental es siempre incierta.

Sin embargo, esto no quiere decir que la reconstrucción de las circunstancias y del entorno socio-cultural en el que una revolución científica dada toma lugar no sea fundamentalmente importante para entender sus causas profundas. Pero arroja más luz sobre el mecanismo de aceptación y confirmación por parte de la comunidad científica que en el momento de descubrimiento individual. Los guardianes de las reglas del juego pueden aceptar o rechazar las exigencias para su cambio. Sin embargo, para poder llegar a una decisión deben fundamentar su juicio en otras reglas, de un tipo lógico diferente, que no son absolutas ni dadas de una vez por todas, pero que al mismo tiempo tampoco son arbitrarias.

Estas reglas o criterios para juzgar son de naturaleza metacientífica. Por lo tanto, la ciencia es, al mismo tiempo, una mezcla de proposiciones sobre hechos y de proposiciones sobre proposiciones. Mi propósito consiste en identificar estas últimas.

3. Los criterios para la escogencia por parte de la comunidad científica.

Estos criterios pueden agruparse bajo diferentes títulos.

a) En primer lugar encontramos criterios para evaluar la relevancia científica de una propuesta. Un juicio preliminar de esta clase siempre está presente en la selección entre cuestiones consideradas como científicamente razonables y aquellas consideradas como no científicas, en otras palabras, entre investigaciones respetables y desacreditadas. El objeto de investigación debe caer dentro de los límites aceptados por la ciencia. Se puede ver qué tan convencionales son estos límites si comparamos la ausencia de una línea divisoria entre la física y la metafísica en la investigación de Kepler en contraste con la situación en nuestros días. Pero

2. G. Bateson: *Mind and Nature*, Wildwood House, London (1979) pág. 42.

estos límites están lejos de haber alcanzado una aclaración definitiva. Por ejemplo, durante mucho tiempo se ha sospechado que los átomos pertenecen a la metafísica. El movimiento browniano era un problema “sucio” hasta que Einstein y Pernin lo convirtieron en un importante capítulo de la física. Variables ocultas fueron proscritas, como veremos más tarde en detalle, después del “teorema de imposibilidad” de von Newmann, pero de nuevo, ahora, son tema de numerosas publicaciones. La lista podría continuar como se deseé.

b) En segundo lugar encontramos criterios para juzgar si la cuestión planteada es problemática. Una vez que se ha establecido el problema de la relevancia científica, queda todavía por decidir si una nueva proposición sobre un conjunto de datos de hechos necesita ser demostrada o se puede considerar como evidente por sí, o de pronto si debería asumirse como un postulado. Las teorías tienen que apoyarse en algo. Pero la escogencia de este algo, después de que un científico individual ha hecho la propuesta, debe ser aprobada por la comunidad. Un ejemplo típico es la escogencia hecha por los físicos, a comienzos del presente siglo, entre las visiones opuestas de Lorenz y Einstein en relación con la necesidad de entender por qué los fenómenos electromagnéticos parecían satisfacer el principio de la relatividad. Lorenz sostiene que la ciencia debía explicar por qué sucedía ésto, mientras que Einstein asumía este hecho como un postulado básico. Finalmente, la comunidad científica se colocó en la posición de este último y decidió que no había nada qué explicar.

Algunas veces, científicos individuales sostienen diferentes puntos de vista y el problema permanece sin solución durante mucho tiempo. Esto sucedió con las diferentes opiniones de Dirac y Jordan sobre la necesidad de la cuantización del campo para fermiones. Dirac argüía que la existencia de electrones era una propiedad evidente en sí misma, mientras que Jordan insistía que era una consecuencia del campo de cuantización como en el caso de los fotones. Finalmente, el punto de vista de Jordan se impuso con una justificación mucho más pragmática.

c) Posteriormente, tenemos diferentes criterios para establecer lo que se considera como una explicación válida. En diferentes situaciones, las comunidades se sienten satisfechas con las pretensiones de explicación que poseen diferentes status lógicos. El ejemplo más notable es la diferencia entre las explicaciones deterministas y las probabilísticas. Todos sabemos que a Einstein le desagra-

daba la idea de “Dios jugando a los dados”. Otro ejemplo es aquel de la diferente recepción otorgada a la misma clase de conexión entre hechos en diferentes contextos socioculturales. Heisenberg recordaba, hablando de las relaciones de dispersión descubiertas en 1924 por Kramens y Krönig, que “estaban buscando una teoría, y que era difícil reconstruirla a partir de las relaciones de dispersión”³. Sin embargo, en 1958 Chew afirmó lo siguiente, al hablar del uso de las relaciones de dispersión en partículas físicas: “En esta situación debemos ser aún más liberales que de costumbre en nuestra definición de una ‘teoría exitosa’. Creo que deberíamos llamar a una contribución una teoría exitosa si nos conduce a alguna correlación entre experimentos que no había sido reconocida previamente”⁴.

d) En cuarto lugar, reconocemos los criterios de adecuación formal. Los ejemplos relevantes son aquellos concernientes a la simplicidad, elegancia, belleza, coherencia interna de una teoría o una ley. Schrödinger consideraba de mal gusto la idea de los saltos de cuantos. Por el contrario, Heisenberg sostenía que “el contenido físico de la teoría de Schrödinger era monstruoso”.

f) Finalmente encontramos criterios para juzgar sobre la adecuación empírica de una teoría. A partir de numerosos ejemplos sabemos que el acuerdo o desacuerdo con un experimento dado se considera más o menos importante según el crédito que la comunidad le da a la teoría en cuestión. Los resultados de experimentos que entran en conflicto con el paradigma dominante se han desatendido hasta que una nueva teoría los necesite como corroboración (el perihelio de Mercury). Por el contrario, otros experimentos posteriormente desaprobados, se han asumido inmediatamente como importantes evidencias en apoyo de teorías que serían abandonadas sucesivamente (la teoría de Bernard et Delaroche sobre el calórico, la de Kaufman sobre la masa electromagnética del electrón). Como señala explícitamente Lakatos, los experimentos esenciales se reconocen como tales sólo en retrospectiva.

3. W. Heisenberg: Reports 12eme Conseil de Physique Solvay, (1961) pág. 201.

4. G. F. Chew: Proc. 1958 Annual Conference High Energy Physics, Geneva, p. 93.

4. Los orígenes sociales de los criterios de escogencia.

¿Cómo se elaboran estos criterios y cómo cambian? Esta pregunta no es fácil de responder porque la mayoría de estos criterios no están explícitamente formulados, e incluso ni siquiera son conscientemente aplicados en el proceso de selección de nuevas propuestas. La reciente investigación sociológica muestra, por ejemplo que los científicos no aplican el mismo contexto epistemológico cuando evalúan el valor de verdad de sus propios resultados en comparación con la validez de aquellos que usan sus competidores. "Los recuentos de los científicos sobre la práctica y la creencia —escriben Mulkay y Gilbert a modo de conclusión en un ensayo recientemente publicado en *Social Studies in Science*— se organizan sistemáticamente de manera que expliquen y que ofrezcan una justificación científica para las acciones del hablante, a la vez que explica y condena aquella de sus oponentes.

"Las respuestas (*accounts*) condenatorias logran su efecto al vincular prácticas (*actions*) y creencias a factores personales y sociales contingentes. En tales respuestas los hablantes 'muestran' que las prácticas y creencias específicas hubieran sido otras sino hubiera sido por el impacto de influencias científicamente irrelevantes". Por otra parte, "la respuesta justificadora se organiza para 'mostrar' que los actos y creencias del hablante no podían ser propiamente de otra manera. Esto se puede lograr en algunas ocasiones presentando actos y juicios particulares como consecuencia necesaria de una regla de procedimiento que pueda asumirse de hecho. Sin embargo, es más frecuente que nuestros científicos formulen sus respuestas justificadoras o escogencia de teorías directamente en términos empíricos – esto es, que están presentes en sus actos y creencias como siguiendo de manera necesaria de lo que experimentalmente ha sido revelado ser el caso en el mundo natural"⁵.

Por lo tanto, las evidencias sobre los orígenes reales de los criterios de escogencia son siempre indirectos. En otro lugar he sugerido que existe un tipo de coherencia entre las afirmaciones sobre la ciencia que constituyen las reglas metacientíficas utilizadas informalmente por la comunidad en la selección de nuevas ideas incorporadas al cuerpo de conocimiento científico, y los conjuntos de

reglas utilizados por comunidades no científicas para establecer el valor de otros tipos de producción social. Algunas veces, esta coherencia puede ser trazada en retrospectivas hasta una transformación particularmente relevante que ocurre dentro de un contexto social⁶.

Como ejemplo he llamado la atención sobre el hecho de que en las últimas décadas una gran proporción de nueva información se ha producido en forma de mercancía. Esta circunstancia tiende a proyectar las características de la producción de mercancías sobre el proceso de producción de conocimiento científico, aún si esta clase particular de nueva información no se produce directamente para el mercado. En este caso la coherencia entre las reglas para evaluar el valor en la producción de mercancía y en la ciencia se muestra a sí misma —para aquellas áreas afectadas por esta conexión, principalmente la Gran Ciencia— en una circunstancia de cambio de criterios a todos los niveles discutidos anteriormente: relevancia científica, contenido problemático, valor explicativo, y adecuación formal y empírica.

Un segundo ejemplo similar de notoria presión social lo ofrece la bien conocida reconstrucción de circunstancias de Paul Forman, que condujo a la comunidad de físicos alemanes a rechazar la noción de causalidad después de la primera guerra mundial⁷. Forman ha explicado este rechazo como una respuesta a un entorno que sostenía actividades hostiles hacia el pensamiento científico, por considerar que este pensamiento, dado su rígido determinismo, no era capaz de satisfacer las necesidades espirituales del hombre. Como lo ha mostrado Forman, la formulación de la mecánica cuántica fue precedida en la Alemania de Weimar por los intentos de los físicos de reconquistar la aprobación social a su actividad, al rechazar los principios mecanicistas y deterministas de la física clásica. Este comportamiento difundido representa una clara prueba de que algunos años antes de la formulación de la mecánica cuántica, ya existía, dentro de la comunidad científica, una escala de valores concerniente a las metas de la ciencia que, algunos años más tarde, favorecerían una pronta y más firme aceptación de una nueva teoría, al igual que una aceptación de una ruptura epistemológica expresada por la interpretación de dicha teoría que elaboró el grupo de Gottingen.

6. D. Mazzonis, M. Cini: *Il gioco delle regole*, Feltrinelli, Milano (1981).

7. P. Forman: *Historical Studies in the Physical Sciences*, Vol. 2, 1 (1971).

Mi propósito aquí es investigar cómo este cambio en las creencias de la comunidad de físicos, se reflejó en la reformulación de los criterios de escogencia a diferentes niveles. Mostraré que se hizo un esfuerzo particular para construir una fuerte barrera ideológica, disfrazada bajo una estricta apariencia científica, entre problemas considerados como científicamente relevantes y problemas que no satisfacían las exigencias de la científicidad. También discutiré cómo el logro de esta meta, obtenida a través de la identificación de las visiones e intereses predominantes de la comunidad, determinados bajo el liderazgo de von Neumann, consiguió como resultado impedir durante casi treinta años el desarrollo de otras tendencias de investigación razonables y significativas, que sólo hasta hace poco tiempo se han admitido dentro del campo de investigaciones científicas legítimas.

5. Los fundamentos metacientíficos de la mecánica cuántica.

El famoso artículo de Wolfgang Pauli aparecido en la revista *Handbuch der Physik* sobre los principios generales de la mecánica cuántica comienza con las siguientes palabras⁸:

“El último giro decisivo de la teoría del cuanto se dio con la hipótesis de ondas de materia de de Broglie, el descubrimiento de la mecánica de matrices de Heisenberg, y las ecuaciones de onda de Schrödinger; esta última establecía la relación entre los primeros grupos de ideas. Con el principio de incertidumbre de Heisenberg y las discusiones fundamentales de Born a partir de dicho principio, la base inicial del desarrollo de la teoría llegó a un final preliminar. Los fundamentos de la teoría se relacionan directamente con los problemas de la dualidad de partícula-onda de la luz y la materia. La teoría conduce a la solución del problema buscado durante mucho tiempo y ofrece una descripción completa y correcta de los fenómenos vinculados. La solución se obtiene al precio de abandonar la posibilidad de tratar objetivamente los fenómenos físicos, esto es, abandonando la clásica descripción causal y espacio-temporal de la naturaleza, que reside esencialmente en la habilidad para separar el observador de lo observado. Encontramos aquí tres afirmaciones cargadas, en gran medida, de significado metacientífico.

- a) La historia del nacimiento de la mecánica cuántica se presenta como un proceso acumulativo, libre de contrastes y alternativas;
- b) Se proclama el carácter último e incambiable de la mecánica;
- c) Se establece la imposibilidad de una descripción objetiva de la realidad como consecuencia de la imposibilidad de una clara separación entre el observador y lo observado”.

Estas afirmaciones han sido la piedra angular del paradigma aceptado por la comunidad científica, y la base para la adopción de un conjunto coherente de criterios de escogencia, con énfasis especial en aquellos concernientes a la relevancia científica y al contenido problemático.

No voy a tratar el problema de la reconstrucción *ad hoc* de la historia de la mecánica cuántica, que ya ha sido discutido en muchos de mis ensayos. Me centraré en el significado de las otras dos afirmaciones.

6. El carácter último e interminable e incambiable de la mecánica cuántica.

No fue una casualidad que el intento de traducir esta opinión de tipo metacientífico en una proposición de la ciencia fuera realizado por John von Neumann. De hecho, durante esos mismos años von Neumann estaba trabajando en Göttingen en estrecho contacto con Hilbert tratando de encontrar una demostración de la autoconsistencia de los fundamentos de las matemáticas. En esa época von Neumann creía con optimismo que se podía demostrar que todo el análisis matemático estaba libre de contradicciones. Pero en 1931 apareció el teorema de Gödel. “Gödel fue el primer hombre en demostrar —escribiría von Neumann veinte años más tarde— que ciertos teoremas matemáticos no podían ser demostrados o refutados con los rigurosos métodos aceptados de las matemáticas.

Demostró además que una específica proposición muy importante pertenecía a esta clase de problemas no demostrables, a saber: la pregunta sobre si las matemáticas están libres de contradicciones internas. El resultado es sorprendente en su quasi-paradójica ‘autonegación’: nunca será posible obtener por medios matemáticos la certeza de que las matemáticas no contienen contradicciones. Se debe enfatizar que el punto importante consiste en que éste no es un principio filosófico o una plausible actitud intelectual, sino el resultado de una rigurosa demostración matemática de una clase

8. W. Pauli: *Die Allgemeine Prinzipien der Wellen Mechanik*, *Handbuch der Physik* Band 24, I Teil Springer Verlag (1933).

extremadamente sofisticada"⁹. Von Neumann tuvo más suerte con la mecánica cuántica en el sentido de que la construcción axiomática formulada por él hubiera sido aceptada como libre de contradicciones internas por futuras generaciones de físicos, justamente con base en los "principios filosóficos" y las "plausibles actitudes intelectuales" que von Neumann tanto despreciaba. En efecto, la aparentemente rigurosa demostración matemática elaborada por él tenía el propósito de mostrar que la naturaleza probabilística de los resultados de la medición de objetos microscópicos no podía interpretarse nunca como derivada de un conocimiento imperfecto del estado de la realidad especificado en sí mismo con más detalle, y por lo tanto proveía a la comunidad científica con un instrumento técnico que satisfacía la tarea requerida: aquella de desvirtuar definitivamente todos los intentos de construir una teoría que pudiera llegar, algún día, a describir la realidad de una manera más exacta que aquella lograda por la mecánica cuántica.

Por supuesto, esta era una tarea metacientífica, pero la comunidad requería un instrumento "científico" para realizarla. Esta es la razón que explica porqué no apareció un Gödel para demostrar que el teorema de von Neumann no hacía más que demostrar lo que se había asumido como verdadero desde el comienzo. En un reciente trabajo de J. S. Bell¹⁰, se ofrece una presentación muy reveladora, "sobre la extraña historia de la demostración de imposibilidad de von Neumann, y sobre la aún más extraña historia de las posteriores demostraciones de imposibilidad".

Dice J. S. Bell: "Cuando era estudiante tenía muchas dificultades con la mecánica cuántica. Era reconfortante saber que incluso Einstein tuvo tales dificultades durante largo tiempo. De hecho, lo condujeron a la conclusión herética de que algo faltaba en la teoría: 'En efecto, estoy firmemente convencido de que el carácter esencialmente estadístico de la contemporánea teoría del cuánto debe atribuirse únicamente al hecho de que esta teoría opera con una descripción incompleta de sistemas físicos'. Al parecer Einstein no conocía que esta posibilidad de pacífica coexistencia entre las predicciones estadísticas del cuánto y las descripcio-

nes teóricas más completas había sido descartada por John von Neumann. Yo mismo no conocía de primera mano la demostración de von Neumann, ya que por entonces sólo se conseguía en alemán, idioma que no podía leer. Sin embargo, sabía de ella por el hermoso libro de Born titulado *Filosofía Natural de la Causa y el Azar*, que fue de hecho uno de los hitos en mi educación sobre la física. Discutiendo cómo podría desarrollarse la física, Born escribió:

'En su brillante libro *Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik*, John von Neumann ha elaborado un aporte más concreto a este problema. Von Neumann coloca a la teoría sobre unas bases axiomáticas derivándola de unos pocos postulados muy plausibles y de carácter general, sobre las propiedades de 'valores esperados' (promedios) y su representación por medio de símbolos matemáticos. El resultado es que el formalismo de la mecánica cuántica está determinado únicamente por estos axiomas; en particular, no se pueden introducir parámetros ocultos con la ayuda de los cuales la descripción indeterminista pueda transformarse en una descripción determinista. Por lo tanto, si una futura teoría hubiera de ser determinista, no puede ser una modificación de la existente sino que tendría que ser esencialmente diferente'".

Una vez hube leído ésto, dejé la pregunta en el fondo de mi cabeza y procedí a realizar cosas más prácticas.

Pero en 1952 ví realizado lo imposible. Fue en los trabajos de David Bohm. Bohm mostraba explícitamente cómo los parámetros ciertamente podían introducirse en la mecánica no relativista de ondas, con la ayuda de las cuales una descripción indeterminista podía transformarse en una descripción determinista. Más importante aún, en mi opinión: era posible eliminar la subjetividad contemplada en la versión ortodoxa, esto es, la necesaria referencia al "observador".

Por otra parte, la idea esencial ya había sido adelantada por Broglie en 1927 con su cuadro de "onda piloto".

Pero entonces, ¿por qué Born no me informó de la "onda piloto"? por lo menos para señalar qué estaba mal. ¿Por qué no la tomó von Neumann en consideración? Aún más, ¿por qué se siguen produciendo demostraciones de "imposibilidad" después de 1952 como en 1978, cuando aún Pauli, Rosenfeld y Heisenberg no podían producir una

9. J. von Neumann — "Tribute to Dr. Gödel" quoted in: S. J. Heims - John von Neumann and Norbert Wiener - MIT Press, Cambridge Mass. p. 144.

10. J.S. Bell: On the impossible Pilot Wave, Ref. TH 3315 CERN (1982).

crítica más devastadora de la versión de Bohm que tildarla de “metafísica” e “ideológica”? ¿Por qué se ignora el cuadro de onda piloto en los libros de texto? ¿Por qué no debería enseñarse, no como el único camino, sino como el antídoto contra la complacencia prevaleciente, para mostrar que la vaguedad, subjetividad e indeterminismo no nos son impuestos por hechos experimentales sino por una escogencia teórica deliberada?

No entraré en detalles para mostrar porqué la demostración de imposibilidad no excluye la existencia de aquellas “variables ocultas” que constituyen el blanco de la demostración. Sólo mencionaré la grieta esencial. El supuesto de si una relación lineal conecta a una variable C con variables incompatibles A, B

$$C = aA + bB$$

entonces la misma relación debe sostenerse para sus valores de significado

$$[C] = a[A] + b[B]$$

no se satisface en una teoría cuya coordinada escondida X especifica el estado, además de la usual función de onda ψ de la mecánica cuántica.

Fue sólo después de que Bohm y Vigier ofrecieran, en los años cincuenta, el contrajeemplo y especialmente después de la formulación del teorema de Bell en 1960¹¹ que la investigación sobre estos asuntos empezó a adquirir, gradualmente, de nuevo un estatuto científico. Va más allá del propósito de esta charla ilustrar los avances logrados durante estos años. Para mostrar cómo estaban profundamente enraizadas estas convicciones sobre el carácter último de la mecánica cuántica, vale la pena citar, sin embargo, la siguiente sugerencia de R. P. Feynman a sus estudiantes: “Creo que es seguro decir que nadie entiende la mecánica cuántica. No sigan diciéndose a sí mismos, si pueden evitarlo, ‘¿Pero cómo puede ésto ser así?’, porque se adentrarán en un callejón sin salida del cual nadie, hasta ahora, ha logrado escapar. Nadie sabe cómo puede ser así”.

A pesar de los peligros de “adentrarse en el callejón”, un número cada vez mayor de físicos está tratando de entender “porqué puede ser así”. Permítanme tan sólo mencionarles una muy interesante posibilidad de construir una mecánica esto-

cástica que reproduzca las propiedades de la mecánica cuántica (aunque probablemente no todas) y que ha sido activamente buscada en la actualidad por mucha gente (incluido yo mismo).

7. La imposibilidad de una descripción objetiva de la realidad y del papel del observador.

La segunda característica distintiva de la así llamada interpretación Göttingen-Copenhagen de la mecánica cuántica consiste en la argumentación de que no hay una realidad objetiva, porque tal como lo planteó Heisenberg en 1927 en la Conferencia de Solvay es “sólo en el momento de la observación que la escogencia (entre diferentes alternativas) se convierte en una realidad física”.

También en este caso fue necesario transformar una proposición metacientífica sobre la ciencia en un argumento científicamente razonable en apariencia, que justificaría la eliminación de peligrosos intentos de corregir la teoría. Lakatos hubiera dicho que era necesario apretar la correa de protección de la teoría para salvaguardar su puntal metafísico. De nuevo, la tarea fue realizada por von Neumann. Citaré en extenso la excelente descripción de este logro dada por Steven Heims en su libro *John von Neumann y Norbert Wiener*¹².

“En palabras de von Neumann uno sólo hace proposiciones de este tipo: ‘un observador ha hecho una determinada (subjetiva) observación; pero nunca algo parecido a: una cantidad física tiene determinado valor’. El punto de vista es claramente positivista, pero en lugar de tildarlo simple e irreflexiblemente de solipsista, vale la pena describirlo con sus implicaciones más específicas.

Von Neumann divide mentalmente al mundo en “tres partes: I, II, III. Sea I el sistema observado en realidad, II el instrumento de medición, y III el observador”. Von Neumann argumenta que es arbitrario el punto donde se traza una línea entre I y II, el instrumento de medición y el observador. El “observador” incluye el “ego abstracto” de la persona o conciencia. También puede considerarse que incluye sus ojos, el curso de sus nervios y su cerebro, al igual que algún equipo de laboratorio, aunque no necesariamente incluye algo más que la conciencia. Aunque von Neumann describió a los sistemas I y II en términos de la teoría de cuanto, el observador permanece por fuera de la descripción

11. J.S. Bell: Physics 1, 195, (1965).

12. S.J. Heims, op. cit. p. 134.

matemática. Una parte novedosa y crucial de la teoría de medición de von Neumann consiste en que *el mero conocimiento de (I) y (II) por parte del observador cambia el estado del sistema físico*. En la jerga de los físicos este cambio en el vector en el espacio de Hilbert que describe (I) y (II) se llama la ‘reducción de una superposición’. En la teoría de von Neumann esto toma lugar cuando —quiera que el resultado de una observación entra en la conciencia del observador— o para ser más dolorosamente precisos mi propia conciencia, ya que soy el único observador, y todas las demás personas son sujetos de mi observación.

La noción de que la mera conciencia en una persona de un fenómeno físico cambia dicho fenómeno en la forma requerida para la “reducción de una superposición” es una novedad en la física; que la mente tenga tales poderes es un supuesto implícito en el modelo de von Neumann. Si la “conciencia” de un observador influye en un suceso físico que se observa, surge la pregunta de si un segundo observador que se hace consciente del mismo suceso físico estará de acuerdo en sus observaciones con el primero. Para obtener un ‘acuerdo intersubjetivo’ von Neumann ofrece sólo la posibilidad de que el segundo observador considere al primero como un objeto, como un instrumento de medición, y con un adecuado uso de su instrumento de medición humano llegará a resultados para los sistemas (I) y (II) que estarán de acuerdo con aquellos del primer observador. Sin embargo, no plantea un mecanismo con el cual se pueda lograr un acuerdo entre los dos observadores, cada uno de los cuales tiene una conciencia ‘independiente’.

En la audaz teoría formal de von Neumann se ha sacrificado una limpia separación entre el sujeto (la conciencia del observador) y el objeto; un tipo de idealismo filosófico ha reemplazado los corrientes supuestos materialistas de la ciencia. Conocemos sólo la mente, nada de la materia. El marco filosófico de la teoría se expone de manera incompleta. Para von Neumann el formalismo era primordial; la elegancia y completitud del formalismo diseñado y su formulación positivista son decisivos para la teoría. Dejemos entonces, que las esquivas metafísicas, epistemológicas y ontológicas caigan donde sea”.

También en este caso la teoría de von Neumann se convirtió en el reglamento que desvirtúa cualquier discusión posterior sobre el origen de la misteriosa “reducción del paquete de onda”. Es fácil, no obstante, convencerse a sí mismo de que sólo la buena voluntad de una comunidad, que sostiene

tendencias preconcebidas en favor de las consecuencias de una teoría, pueden justificar la aceptación de las hipótesis *ad hoc* que le subyacen. Discutámoslas brevemente.

La primera consiste en describir el aparato de medición por medio de un vector abstracto en el espacio de Hilbert que no contiene referencia explícita alguna a su carácter macroscópico. En la teoría de von Neumann el instrumento se trata de la misma manera en que uno describiría una partícula microscópica individual, por ejemplo un electrón o un átomo. Siendo este el caso, no hay que preguntarse porqué el instrumento muestra el mismo comportamiento de cuanto que un sistema atómico individual mostraría, con la consecuencia de que ningún objeto físico llega a existir exhibiendo esas propiedades, que conocemos por experiencia que caracterizan a los objetos macroscópicos. En otras palabras se elimina el problema de demostrar que un objeto compuesto de 10^{23} partículas suele comportarse como un objeto clásico, e igualmente se elimina la investigación en la que situaciones excepcionales pueden mostrar la desviación de esta clase de comportamiento. Desde este punto de vista se niega el derecho a que se formulen preguntas perfectamente razonables.

La segunda hipótesis consiste en la exigencia de que la reducción del paquete de onda sea instantánea y exacta. Este es un postulado que refuerza el punto de vista adoptado, ya que la *exacta* reducción del paquete de onda no puede ser una rigurosa consecuencia de la evolución de tiempo predicha por las leyes de la mecánica cuántica. Al exigir que los resultados de un acto de medición tengan que ser tales que ningún objeto físico pueda considerarse capaz de producirlo, se introducen obviamente causas inmateriales en la física.

No es necesaria la exigencia de que la reducción de paquete de onda deba ocurrir exactamente. Sería suficiente asumir que es una descripción idealizada, válida para un alto grado de aproximación del resultado de la interacción entre un objeto microscópico, cuyas propiedades se miden, y un apropiado aparato de medición microscópica. De nuevo aquí, el problema de demostrar que en realidad éste es el caso, se eliminó del campo de la física al negar la legitimidad de, por lo menos, hacer la pregunta.

La prohibición impuesta por la teoría de medición de von Neumann se empezó a desafiar en los años cincuenta. Citaré entre los pioneros a Ludwig y al

grupo italiano de Loinger, Daneri y Prosperi¹³. Sus intentos fueron ignorados por la vasta mayoría de la comunidad de físicos, que estaban satisfechos con la sabiduría tradicional de que la cuestión no era problemática. También dichos intentos fueron amargadamente contrastados por algunos de los antiguos guardianes de la ortodoxia como Wigner. En años recientes los aportes de Gottfried¹⁴, Everett¹⁵, Hepp¹⁶ y de un grupo en Roma¹⁷ incluyendo a De maria, Mattioli, Nicoló y yo mismo, han prácticamente resuelto el problema en la dirección mencionada más arriba. Citaré las observaciones finales de un trabajo mío en curso de publicación en *Il Nuovo Cimento*:

En conclusión, el principal resultado conceptual de la actual formulación de medición en la mecánica cuántica consiste en la eliminación del papel del observador en la determinación del cambio de estado de un sistema observado. Se establece una clara separación entre la evolución de tiempo objetiva del sistema $S + M^1 + M^2 + \dots$ y la decisión subjetiva por parte del "observador" de mirar al contador selector. Este último acto no influye en manera alguna lo que le sucede al microsistema como consecuencia de sus interacciones con el objeto macroscópico que existe en su entorno. Una vez que se especifique este entorno, la evolución de tiempo del vector de estado sigue adelante sin posteriores interferencias del mundo externo.

Esto muestra que la difundida visión subjetivista de la realidad según la cual ésta última es creada por un acto de observación, es sólo la consecuencia de un supuesto físico incorrecto, esto es, la esquematización de un microsistema como un sistema aislado.

Tan pronto se toma en consideración el hecho físico de que sólo un microsistema junto con el aparato, se podría representar correctamente como un sistema aislado, se restaura la objetividad de la realidad y la evolución causal del vector de estado se convierte, como debería ser, en una

fuente de información estadística bien definida sobre los diferentes posibles resultados de la interacción del microsistema con el aparato. Por lo tanto la decisión del "observador" de mirar o no el contador de un instrumento no ejerce más influencia sobre el estado del microsistema que la decisión de mirar o no una moneda tirada al aire ejerce sobre su caída en cabeza o sello.

La inclusión de objetos macroscópicos —y el aparato de medición es sólo uno de ellos—, en el mundo físico del microsistema, elimina esas misteriosas influencias de la mente del observador sobre el comportamiento del microsistema, lo cual ha originado tantos sinsentidos frívolos por parte de muchos físicos famosos.

8. Conclusiones

Aquí termina mi historia. ¿Cuál es la moraleja? Hemos visto que la comunidad científica tiende a justificar sus escogencias en términos de argumentos expuestos como puramente científicos. Sin embargo, desde un punto de vista lógico esto nunca es rigurosamente posible. En efecto, la afirmación "la teoría A es mejor que la teoría B" es una proposición de un tipo lógico diferente de una proposición como la siguiente: "si el hecho A ocurre, entonces el hecho B también ocurrirá". Las proposiciones sobre las teorías científicas no son, estrictamente hablando, teorías científicas, aunque por lo general son parte de éstas. Cuando se incurre en una confusión entre estos dos tipos de proposiciones debe existir una grieta en el argumento bajo el que se disfraza el argumento metacientífico. Hemos visto que éste es, ciertamente, el caso para los argumentos inventados por von Neumann, para desvirtuar cualquier intento de proponer alternativas a la formulación ortodoxa de la mecánica cuántica.

Vale la pena insistir en que una reconstrucción de los criterios metacientíficos de escogencia que adopta la comunidad, para aceptar una teoría dada, pueden ayudar a identificar una grieta en el argumento propuesto para reemplazar las normas que de hecho se adoptan para esta aceptación. Esto abre el camino para reconsiderar las teorías rivales descartadas con base en dicho argumento. En otras palabras, uno encuentra que una nueva introspección en los campos de la historia de la ciencia, sociología de la ciencia o epistemología, pueden ser de gran ayuda para remover obstáculos que se atraviesan en el camino de desarrollos alternos en las disciplinas que son el objeto de sus investigaciones.

13. A. Daneri, A. Loinger, G.M. Prosperi: *Nucl. Phys.* 33, 297 (1962).

14. K. Gottfried - *Quantum Mechanics* - W.A. Benjamin, New York 1966. Sect20.

15. H. Everett - *Rev. Mod. Phys.* 29, 454 (1957).

16. K. Hepp - *Helv. Phys. Acta* 45, 237 (1972).

17. M. Cini, M. De Maria, G. Mattioli, F. Nicoló - *Found. of Phys.* 9, 479 (1979).

18. M. Cini - *Nuovo Cim.* in press.

Por otra parte, el descubrimiento de una grieta en el argumento científico adoptado para desvirtuar a los competidores de una teoría aceptada, sugiere que una proposición sobre proposiciones ha sido disfrazada bajo la forma de una proposición sobre hechos. Y así se abre paso a una correcta reconstrucción de los criterios metacientíficos de escogencia que llevaron a la comunidad a aceptar una teoría y a rechazar las otras. Esto demuestra cómo una reconsideración no convencional de problemas científicos aparentemente resueltos pueden ayudar al desarrollo de aquellas ciencias que tienen a la ciencia misma como su objeto.

No quiere decir esto, sin embargo, que se ha reintroducido la demarcación absoluta entre ciencia, constituida por las proposiciones sobre hechos, y formas subjetivas de conocimiento, demarcación cuya existencia fue negada al comienzo de este ensayo. Por el contrario: la posibilidad de usar argumentos de carácter metacientífico para cambiar las "proposiciones sobre hechos" y viceversa, demuestra que tienen algo en común. Por otro lado sería erróneo y desorientador afirmar que son idénticas. Los científicos suelen cometer este error presentando los criterios metacientíficos de escogencia bajo la forma de proposiciones sobre hechos pero el mismo error con un signo opuesto se comete por aquellos que reducen la ciencia a un constructo puramente social. La distinción entre proposiciones sobre hechos y proposiciones sobre proposiciones, siendo ambas elementos esenciales de la ciencia, debería verse como una distinción relativa entre elementos del mismo proceso, o entre partes recíprocamente interactuantes de la misma totalidad.

La ciencia es como un juego cuyas reglas van cambiando a medida que se desarrolla el juego. Fijar las reglas es también parte del juego. No hay una distinción absoluta y permanente entre la fase en la cual se fijan las reglas, y la fase en la que el juego continúa con las reglas establecidas. No significa ésto, sin embargo, que la distinción entre ambas se pierda por completo: las reglas y el jugar siguen perteneciendo a dos tipos lógicos diferentes. Desenredarlas dentro del proceso constituye entonces la única manera de entender el juego. Los científicos han elaborado ciencia durante mucho tiempo; probablemente ha llegado el momento de entenderlos.

Caballero, Luis (1943 -)
Pintor colombiano, dibujante y grabador.



Dibujo. Tinta sobre papel