

Juan Ramón Alvarez

"Je sais donc avec certitude que certaines anciennes bases philosophiques (réalité intrinsèque de l'espace-temps physique, causalité, localité) de la représentation scientifique de l'univers sont à changer, et cela dans un sens qui est justement celui plus ou moins suggéré par la mécanique quantique. Mais il n'est pas dit pour autant que doivent être prises pour conclusions définitives toutes les suggestions de cette mécanique".

Bernard d'Espagnat, A la recherche du réel.

### 1. Introducción

En un apéndice incluido en su reciente libro Contraversias en física, Mario Bunge declara que la imposibilidad de sostener a la vez los dos principios implícitos en las desigualdades de Bell, a saber, la exactitud (sharpness) de todas las propiedades de los objetos de que trata la mecánica cuántica y la localidad o separabilidad en los procesos objetivos, no pone en tela de juicio la interpretación realista de dicha teoría física. En vista de ello concluye: "Ergo, si deseamos tener una teoría de variables ocultas, deberá ser no local; y si queremos conservar la localidad, debemos renunciar a las variables ocultas. Pero sólo los nostálgicos se enfrentan con este dilema" (1).

Como se trata de una incompatibilidad — disyuntivamente normalizada:  $(-p \ \& \ q) \vee (p \ \& \ -q) \vee (-p \ \& \ -q)$  — caben tres posibilidades, todas al parecer compatibles con "el" realismo. La cuestión que plantea problemas, sin embargo, es si verdaderamente ese realismo es uno, es decir, si "realismo" es unívoco, supuesto lo anterior. El dilema de los nostálgicos — expresión que podría caracterizar muchas discusiones sobre la interpretación adecuada de la mecánica cuántica — se resuelve, para Bunge, con la interpretación objetiva de las probabilidades irreducibles, superadora de la búsqueda de exactitud mediante la introducción de ciertas variables "ocultas" (una de las denominaciones menos afortunadas de la reciente (meta) teoría física) y con la formulación de una onto-

logía sistémica adecuada que logre matizar la no-separabilidad, restringiéndola a sus justos límites. Hecho esto, los primeros dos miembros de la disyunción expresiva de la incompatibilidad quedan para el baúl de los recuerdos; en fin, reservados para aquellos nostálgicos que identifican recordar con vivir, puesto que, como es bien sabido, la disyunción tolera que las primeras alternativas sean falsas con tal de que no lo sea la tercera - la negación conjunta de exactitud y separabilidad - cuya forma es, en su versión positiva, la conjunción de probabilidad objetiva y onticidad sistémica.

Las consideraciones que siguen recuperan ideas ya expuestas en el Curso internacional sobre mecánica cuántica y realidad, que tuvo lugar en la Universidad de Salamanca en Mayo de 1981. Las anteriores precisiones no hacen sino indicar con más exactitud el punto de partida de aquella intervención, cuyo esquema general se respeta en la presente redacción (2).

## 2. Contexto de análisis

El tema tantas veces tratado de las relaciones entre la mecánica cuántica y la realidad marca ya una dirección con la propia dualidad que contiene, y en su forma de conjunción hace pensar en la posición previa de sus extremos, sobre cuya aceptación se plantea el problema de la conexión de ambos. Pero también podría traducirse el problema de esas relaciones a una forma pirandelliana, acogiendo el interesado al modo de expresión de Bunge, quien nos plantea la cuestión con la siguiente frase: "la mecánica cuántica en busca de su referente" (3). En este caso quedaría entre paréntesis el propio referente. Pero también podría agregarse el caso en que ciertos resultados, aparecidos en la historia de la física, estuviesen también, more pirandelliano, en busca de su teoría. Bien es verdad que hechos y objetos no son lo mismo, pero ambas formulaciones anteriores han sido - y seguramente siguen siéndolo - refrendadas desde epistemologías diferentes, asociadas a particulares ontologías y a ejecuciones metodológicas diversas. El doblete mecánica cuántica/realidad se torna problemático desde sus dos extremos: asociado el primero a una concepción metodológica de la ciencia, que impone sus exigencias a todo compromiso ontológico posible - incluido el nulo, identificado con la neutralidad - y conectado el segundo con una ontología de los dominios de objetos, que se presenta como una especie de "ligadura" para los procedimientos operativos de la ciencia. Por ello mismo no puede emitirse ningún juicio ponderado sobre la relación problemática entre esta teoría física y su dominio objetivo - sea éste el

que fuere-, sin contar con cierta idea metodológica de la ciencia que esté, a su vez, ligada a ciertos supuestos ontológicos que han de ser, por el enlace, supuestos conjugados de esos procedimientos.

Sin que estas consideraciones sean solidarias de metafísicas rancias ni de metodologías envanecidas, deben mantener, no obstante, la unión de los requisitos de ambas, en cierto modo como quería Margenau, para quien la ciencia es "un sistema metodológico vivo", en el cual alcanza su definición el tipo de realidad de que trata (4). Pues, aunque las diversas ciencias no tematizan la idea de realidad, objeto si de alguna disciplina, de la ontología, en sus propias articulaciones internas debe hallarse la vía de acercamiento a esa tematización. No puede hablarse de la realidad física desde la ignorancia respecto de las ciencias físicas, pero la eliminación de aquella ignorancia no puede consistir en la repetición, en grado reducido, por parte de los filósofos, de lo acuñado metodológicamente por la ciencia. Las relaciones siempre provisionales entre metodología y ontología pueden establecerse verosímilmente si se halla un contexto adecuado, en el cual las relaciones del dominio objetivo aparezcan vinculadas a un concepto de método también concebible en dicho contexto.

El contexto aludido, que he presentado ya en otros trabajos (5), es una terna  $\langle K^2, /, = \rangle$  que consta del conjunto formado por los nueve tipos de relaciones que resultan del producto cartesiano consigo mismo del conjunto  $K = \{\text{signos, objetos, sujetos}\}$ , cuyos elementos aparecen soportando las relaciones sobre las cuales Morris quiso fundar en su día el proyecto de una semiótica, del operador 'producto relativo' y del relator de igualdad (6). Por ello mismo incluye relaciones sintácticas, semánticas y pragmáticas, pero rectificadas y contextualizadas junto a relaciones sólo mediatamente simbólicas. Denotando con 's' complejos de signos, con 'O' complejos objetivos y con 'S' sujetos (simples o complejos, según los casos) de complejos de operaciones, resultaría -atendiendo al orden cabecera de fila  $\rightarrow$  cabecera de columna- la siguiente tabla de relaciones:

	signos	objetos	sujetos
signos	sintáctica	representativa	normativa
objetos	incorporativa	óptica	restrictiva
sujetos	simbólica	técnica	social

Aceptadas las relaciones sintácticas tal como las definió Morris - como relaciones entre signos, prescindiendo de las relaciones de éstos con los objetos y los sujetos - debe indicarse, sin embargo, que las relaciones semánticas son tanto las de signos a objetos (representativas) como sus conversas (de objetos a signos: incorporativas), y que las relaciones pragmáticas son tanto las de sujetos a signos (simbólicas) como también sus conversas (de signos a sujetos: normativas). Pero, además, en dicho contexto se establecen relaciones entre objetos (ónticas u objetivas) y entre sujetos (sociales), así como también entre sujetos y objetos (técnicas), con sus correspondientes conversas (restrictivas). Los sujetos, en tanto que sujetos de operaciones, operan sobre signos, objetos y sujetos; y esta triple operatividad, sometida a las relaciones normativas en que sistemas de signos condicionan (regulan) las conductas operativas de los sujetos, sirve para concebir el método como un procedimiento reiterable en diversas escalas. Si en ese contexto se introduce el esquema de composición del producto relativo, la aplicación de normas a las operaciones genera en cada tipo de estas últimas un tipo de relación definida ya en el contexto: en este sentido el contexto es cerrado respecto de dichas composiciones, con tal de que el producto relativo esté definido. En concreto, la composición de las relaciones normativas (s, S) con las tres clases de relaciones operativas - (S, s), (S, O), (S, S) - da como resultados respectivos, relaciones sintácticas (s, s), relaciones representativas (s, O) y relaciones normativas (s, S) (8). Pero esta segunda "normatividad" es diferente de la primera y se aplica a una segunda escala en que se generan, a su vez, normas para una tercera, y así sucesivamente (9).

Formalmente considerada, esta idea del método entendido como la subordinación de las operaciones a normas, en cuanto ligada a la recurrencia normativa anteriormente expuesta, no tiene término asignable de antemano y su bloqueo debe proceder, seguramente, de limitaciones objetivas que pueden manifestarse, metodológicamente, de dos formas principales. Por defecto, en el caso en que las técnicas de análisis no permitan alcanzar la escala que constituye el nivel de resolución (10) de la ciencia considerada; por rectificación, cuando las técnicas de análisis, aunque puedan rebasar el nivel de resolución, tengan necesidad de no traspasarlo, so pena de que la síntesis sea imposible.

Puesto que no existen ontologías "mudas", sino que las relaciones ónticas, para hacerse presentes, exigen su inserción en representaciones, la ontología asociada a una metodología hace pensar, verosímilmente, en la

susceptibilidad de las relaciones con predominio objetivo, esto es, aquellas cuyo término a la izquierda denota objetos, de acomodarse a representaciones; a saber, de someterse a reglas semánticas. En este contexto, ello equivaldría a componer relaciones representativas (s, O) con las tres clases de relaciones con predominio objetivo: las relaciones incorporativas (O, s), las relaciones ónticas (O, O) y las relaciones restrictivas (O, S). Pero a poco que se atiende a los resultados de esa subordinación de relaciones con predominio objetivo a relaciones representativas, se ve inmediatamente que los resultados son, respectivamente, relaciones sintácticas, representativas y normativas (11). Sobre esto deben hacerse las siguientes precisiones. La primera es que los resultados son formal y genéricamente los mismos que se observan en la perspectiva metodológica: se trata de los mismos tipos de relaciones resultantes. Pero, en segundo lugar, es de notar que, no obstante el mismo rendimiento apreciable en los resultados, la perspectiva metodológica difiere de la ontológica, semánticamente formulada, en las condiciones de reaplicabilidad: la primera basa su recurrencia en la generación reiterada de nuevas normas; la segunda, en cambio, en la producción reiterada de nuevas representaciones. Además, la reiteración de las normas se debe a la mediación operativa de los sujetos, mientras que la reiteración de las representaciones es posible merced a la mediación de ciertas objetividades supuestas en las relaciones con predominio objetivo. Por ello, la perspectiva metodológica es principalmente operativa (subjetiva, aunque en términos metodológicos y no psicológicos, que sería necesario caracterizar según el desarrollo de las propias ciencias (12)), mientras que la perspectiva ontológica es principalmente objetiva (13).

Por razones de complementación, debe figurar también en este inventario elemental una tercera perspectiva de igual rendimiento, ligada a la subordinación de las relaciones predominantemente simbólicas (con términos denotativos de signos a la izquierda) a relaciones sintácticas. En este caso el rendimiento es el mismo de los dos anteriores, pero la mediación es simbólica y, dado el carácter homogéneo de las relaciones sintácticas, los productos resultantes son homólogos a las relaciones factores subordinadas a las sintácticas (14). Esta tercera perspectiva puede llamarse simbólica, para distinguirla de la metodológica y la ontológica (asumida en una semántica), aunque, como puede notarse, en los tres casos hay predominio simbólico - en el sentido de "predominio" anteriormente indicado - tanto en las relaciones subordinantes como en las resultantes; lo cual, sin reducir

las ciencias a su aspecto lingüístico denotado por el término "teoría", nos hace comprensible la inclinación a dicho reduccionismo, puesto que la forma primaria de inteligibilidad de toda ciencia es su forma teórica.

Por tanto, plantear la cuestión de las relaciones entre una ciencia y su dominio objetivo conduce a establecer estas tres perspectivas de igual rendimiento, pero de génesis diferente. La coincidencia final entre ellas asegura la verdad de los conocimientos, pero su diferencia genética abre el espacio de los problemas que dicha coincidencia final, concebible sólo en el límite, plantea (15). Los esquemas del método que anteceden proporcionan simplemente unos apuntes mínimos del contexto adecuado y, salvado el neologismo, podrían considerarse como pequeños tanteos de metodografía (16).

### 3. Metodografía de algunos casos

La diferencia entre la perspectiva metodológica y la ontológica podría ejemplificarse con los intentos de distinguir entre los modos subjetivos y objetivos de interpretar la mecánica cuántica. Al margen de la posición que pueda adoptarse al respecto, parece plausible pensar que esta oposición subyace y da sentido a tentativas que, como la en su día propuesta por de Broglie con la denominación de "teoría de la doble solución" (17), pretenden distinguir entre la interpretación operativo-estadística y la objetivista de la mecánica cuántica, por entender que la primera es "ficticia", mientras que la segunda debe constituir la "verdadera" descripción de la realidad física. Atendiendo a las consideraciones anteriores, parece apropiado entender la interpretación estadística como figura dibujada en la perspectiva metodológica, mientras que la objetivista parece convenir más a la perspectiva ontológica semánticamente asumida, aunque el examen de la cuestión puede mostrar articulaciones más completas, que pueden hacer de la anterior oposición una simplificación excesiva.

Con independencia de su fortuna histórica, la teoría de la doble solución es, al menos, ilustrativa, porque muestra, como caso particular de formulación de teoría de variables ocultas, una duplicidad que es, en realidad una triplicidad metodológica, ontológica y simbólica. Brevemente resumida según su formulación de los años cincuenta (18), se apoya en la distinción entre la clásica función de onda  $\Psi$  y una segunda función  $\underline{u}$  que representa una onda de región singular, descomponible fuera de dicha región en la forma  $\underline{u} = \underline{u}_0 + \underline{v}$ , donde  $\underline{u}_0$  es una función muy pequeña respecto de  $\underline{v}$  fuera del entorno inmediato

de la región singular, pero que crece muy rápidamente en la proximidad de dicha región, mientras que  $\underline{v}$  es una solución regular de la ecuación de propagación. La ecuación de propagación tendría, entonces, dos soluciones: una regular y otra singular, siendo la onda total  $\underline{u}$  - decía gráficamente de Broglie - "la superposición de una especie de aguja muy localizada implantada en el seno de una onda  $\underline{v}$  que tiene la misma forma matemática que la onda habitual  $\Psi$ " (19). Pero entonces la ecuación de propagación satisfecha por  $\underline{u}$  debe ser no-lineal, puesto que sólo así se evitaría la independencia de las soluciones  $\underline{u}_0$  y  $\underline{v}$ , que contradiría el supuesto de que ambas admitan las mismas líneas de corriente y que el movimiento de la aguja  $\underline{u}$  esté determinado por las líneas de corriente de  $\underline{v}$ . La no-linearidad de la ecuación de propagación da la razón de dicha solidaridad. Como apostilla de Broglie, "las dos funciones  $\underline{u}_0$  y  $\underline{v}$  están soldadas entre sí por la no-linearidad de la ecuación de onda en la región singular y ésta es sin duda la razón profunda de que la onda guíe al corpúsculo" (20).

Pero la no-linearidad es el criterio, establecido simbólicamente, que permite establecer cierta representación de la realidad física: la onda de región singular, que sería una realidad objetiva independiente del observador, mientras que  $\Psi$  es una función metodológicamente construida en virtud de los conocimientos disponibles, pero construida a partir de  $\underline{v}$ , que se confunde con  $\underline{u}$  lejos de la singularidad  $\underline{u}_0$ ; y  $\underline{v}$  sería también la representación de una realidad objetiva que permite a  $\Psi$  suministrar estimaciones estadísticas precisas (21). Por tanto, no debe analizarse la teoría de la doble solución simplemente como la contraposición entre las funciones  $\Psi$  y  $\underline{u}$  - adecuada metodológicamente la primera y ontológicamente la segunda (22) -, sin reparar justamente en que el criterio simbólico de la no-linearidad de la ecuación de propagación, que es indicador de inseparabilidad ontológica, es en todo caso inexcusable por razón de la unión solidaria supuesta para las soluciones regular y singular. La teoría de la doble solución integra, por tanto, las tres perspectivas (metodológica, ontológica y simbólica), asociadas respectivamente a la construcción metodológica - "subjetiva" (23) - de la función  $\Psi$ , a la afirmación de que  $\underline{u}$  es una representación de la realidad y al criterio de la no-linearidad que articula la estructura de dicha representación.

La teoría de la doble solución tenía como fin resolver en unidad la llamada complementariedad de los aspectos ondulatorio y corpuscular de la realidad física supuesta, instalándose en el seno de una polémica sobre las interpretaciones del formalismo cuántico, discusión que

Messiah remite cautelosamente a las reflexiones de la filosofía de la ciencia, más bien que a las de la ciencia propiamente dicha (24). Si se acepta esta remisión y se atiende al ejemplo de la doble solución, puede apreciarse que la diferencia de las dos funciones descansa en la propiedad simbólica (matemática) de la no linealidad, que constituye la negación de una de las condiciones exigidas para la obtención de la habitual función  $\Psi$ ; a saber, que la ecuación de propagación sea lineal y homogénea, por una parte, y, por la otra, ecuación diferencial de primer orden respecto del tiempo, condiciones que satisface la ecuación de Schrödinger (25). Una forma alternativa de negar las condiciones mencionadas consiste en eliminar la segunda conservando la primera, como ocurre en el caso de la conocida ecuación de Klein-Gordon, que es de segundo orden respecto del tiempo, y cuya forma general puede esquematizarse así:  $u_{xx} - u_{tt} = m^2 u$ ; su análogo no lineal, de la forma  $u_{xx} - u_{tt} = m \operatorname{sen}^2 u$  es la llamada ecuación sinusoidal de Gordon ("sine-Gordon equation") (26).

Vinculada a este último tipo de ecuación aparece la reciente teoría de los solitones, de procedencia clásica (hidrodinámica) que trata de ondas no disipativas (27). Su interés para la mecánica cuántica reside en el descubrimiento de que se presentan ondas no disipativas para ecuaciones formuladas en la descripción de las partículas elementales. Aunque aún no exista comprobación empírica de tales solitones en la física de partículas, sí parece plausible que, de admitir las ecuaciones de partículas elementales soluciones solitónicas, los solitones habrían de aparecer como partículas magnéticamente monopulares muy pesadas. Pero lo que importa de esta formulación es que, como apunta Rebbi en un resumen del tema, la dispersión de los solitones es imposible por restricciones topológicas (28). El solitón tridimensional sería equiparable a la partícula. Las condiciones de conceptualización vienen dadas por la teoría de un campo de Yang-Mills, sobre el supuesto de una multiplicidad de estados vacíos, con una topología apropiada (29). Sólo es necesario destacar aquí que la topología apropiada juega en este caso un papel semejante a la no-linealidad de la ecuación de propagación supuesta por de Broglie. Evidentemente, la teoría de los solitones carece aún de la perspectiva metodológica ligada a predicciones cumplidas, pero sí lleva consigo la ontológica y la simbólica, que adopta un criterio restrictivo: los campos sólo pueden incorporar solitones si hay múltiples estados vacíos con una topología apropiada.

En este caso, sin embargo, no se opone una onda previsual  $\Psi$  a una onda física  $u$ , según interpretaba en su día Fèvrier (30) la formulación broglia de la doble solución, sino que se establece la equivalencia referencial

entre solitón tridimensional y partícula, en un contexto ontológico, por medio de los criterios simbólicos de una topología determinada, es decir, mediante una composición entre relaciones en que unos objetos incorporan simbolismos representativos de otros objetos, resultando los primeros equivalentes a los segundos: en la forma  $(O_i, s_i)/(s_i, O_j) = (O_i, O_j)$ , siendo el producto una relación de equivalencia. Por el contrario, en la teoría de la doble solución se supone la equivalencia en el límite entre dos representaciones, la función  $\Psi$  y la función  $u$ , cuyo carácter representativo, sin embargo, se entiende subjetivo en el primer caso y objetivo en el segundo. Esto es a primera vista confuso, porque ocurre más bien que en la primera el carácter subjetivo habría que referirlo a la mediación de sujetos en la forma  $(s_i, S_i)/(S_i, O_i) = (s_i, O_i)$ , mientras en la segunda, en cambio, el carácter objetivo no viene dado por una mediación de objetos, sino por las condiciones simbólicas exigidas (por ejemplo, la no linealidad de la ecuación de propagación), en la forma  $(s_i, s_j)/(s_j, O_i) = (s_i, O_i)$ . La primera resulta de la composición de relaciones normativas con relaciones técnicas (experimentales) subordinadas a aquellas, mientras que en la segunda se subordinan relaciones representativas a las condiciones sintácticas de construcción. La equivalencia sólo puede cumplirse, en último término, si coinciden en el límite las condiciones formales de la experimentación (formalismo de previsión) con las condiciones de simbolización de la representación que pretende ser "realista", pero de un realismo apoyado no en condiciones ópticas, sino sintácticas.

Ahora bien, al margen de la posibilidad de un "realismo sintáctico", la equivalencia de esos dos conjuntos de condiciones únicamente puede determinarse contrastando las condiciones previsionales con las simbólicas, es decir, estableciendo las relaciones entre unas y otras. El problema está, sin embargo, en que los modos de vincular las condiciones previsionales y las simbólicas no sean unívocos, funcionales. Es lo que Fèvrier ponía de relieve, señalando que "si se admite la hipótesis de las dos ondas, la conexión entre la onda física  $u$  y la onda previsual  $\Psi$  no puede ser funcional: en efecto,  $u$  describe... un fenómeno físico objetivo, mientras que  $\Psi$  describe nuestras previsiones con relación a nuestro conocimiento; no se puede unir a  $\Psi$  y  $u$  sino estocásticamente" (31). Pero de Broglie afirmaba justamente que "el observador podrá construir en su espíritu una función  $\Psi$  que será proporcional en todas partes a  $u$  con un coeficiente de proporcionalidad que se puede elegir arbitrariamente...(32); la introducción de  $u_0$  parece alterar, empero, esa relación funcional.

#### 4. Realismo y ontología

Las tres perspectivas introducidas —metodológica, ontológica y simbólica— permitirían análisis más minuciosos, pero sólo se intenta mostrar aquí su posible utilidad. Utilidad que también podría cumplirse si atendemos a otros casos típicos en la problemática de las relaciones entre mecánica cuántica y realidad. Cuando se interpretan los resultados experimentales que muestran una violación o, al menos, una desviación significativa respecto de las desigualdades de Bell, y coinciden, en cambio, con las previsiones mecano-cuánticas, como una descalificación terminante de las llamadas teorías realistas locales, tal como hace d'Espagnat (33), atribuyendo esa desviación al incumplimiento de la condición de separabilidad, pueden introducirse precisiones aclarativas. Según d'Espagnat, las teorías realistas locales se apoyan en tres premisas fundamentales, a saber, la premisa realista, consistente en la afirmación de que el mundo exterior tiene al menos ciertas propiedades independientes del conocimiento; la premisa del uso libre de la inducción, consistente en la admisibilidad de extrapolar consecuencias a partir de correlaciones observadas; finalmente, la premisa de localidad o separabilidad, que impone límites a la extensión hasta donde ciertos sucesos distantes pueden influir entre sí (34).

La primera premisa supone la existencia de sistemas físicos que tienen ciertas propiedades con independencia de que existan o no instrumentos de medida susceptibles de actuar sobre ellos. Para explicitarla puede valer la conocida condición de Einstein: "si podemos predecir con certeza (esto es, con probabilidad igual a la unidad) el valor de una magnitud física sin perturbar en modo alguno un sistema, entonces existe un elemento físico real correspondiente a esta magnitud física" (35). La segunda premisa, relativa a la inducción y, para los realistas, mediatamente, a la causalidad, no será considerada en lo que sigue. La tercera premisa da carácter local a la teoría y supone, de acuerdo con la primera, que existe físicamente la propiedad de un sistema que puede ser determinada sin perturbarlo. Ahora bien, si existen dos sistemas con propiedades opuestas —por ejemplo, el spin de dos protones en estado singulete—, entonces podrá predecirse la propiedad (magnitud) del segundo midiendo y, por tanto, perturbando solamente al primero (36). La condición para que el segundo no sea perturbado es que sea causalmente independiente del primero, lo que debe establecerse en el diseño de las condiciones experimentales.

Sobre estos supuestos realistas y locales estableció

Bell su conocida desigualdad, según la cual para cualquier muestra suficientemente grande de partículas como las citadas, las hipótesis de las teorías realistas locales imponen un límite en la correlación expectable al medir los diferentes componentes del spin según ejes A, B, C. Este límite se concreta en la desigualdad según la cual el número de pares  $A^+B^+$  no puede exceder la suma del número de pares  $A^+C^+$  y el número de pares  $B^+C^+$ :

$$n(A^+B^+) \leq n(A^+C^+) + n(B^+C^+) \quad (37).$$

Se trata de la predicción explícita de los resultados de un experimento, que pueden predecirse también mediante las reglas de la mecánica cuántica. Sin embargo, las predicciones difieren, ya que la mecánica cuántica admite que, para algunas elecciones de los ejes A, B, C, el número de pares  $A^+B^+$  exceda la suma de los números de los pares  $A^+C^+$  y  $B^+C^+$  (38).

Por otra parte, el examen de la hipótesis realista (premisa 1) y de la hipótesis local (premisa 3) pone de relieve que la premisa realista sólo adquiere sentido operativo a través de la premisa local, pues de lo contrario sería una afirmación extracientífica desligada de todo control. Si se atiende a la forma de la premisa local, conforme al contexto propuesto en el apartado 2, se observa que supone la subordinación de operaciones de medida a normas, en el supuesto de mediaciones simbólicas entre la medida obtenida y el valor de la magnitud asociada al sistema no perturbado. Su forma puede esquematizarse así:

$$(s_i, S_i)/(S_i, O_i)/(O_i, s_j)/(s_j, O_j) = (s_i, O_j),$$

en que tiene lugar la representación de la propiedad del sistema no perturbado. Si de este producto se eliminasen las operaciones sometidas a normas, es decir, el componente metodológico, correspondiente a las dos primeras relaciones factores  $-(s_i, S_i)/(S_i, O_i)-$ , restaría sólo una forma que contiene la relación entre objetos mediados por signos  $-(O_i, s_j)/(s_j, O_j)-$ , es decir, la relación óptica resultante de una mediación simbólica desligada de operaciones de medición y, por tanto, desligada de todo conocimiento empírico. Se trataría, por ello mismo, de una declaración de motivos que coincidiría con la hipótesis realista (premisa 1).

Con ello en cuenta, habría que reconocer que el rechazo de la separabilidad constituye el rechazo científico de la premisa que d'Espagnat considera realista. Y que no cabe rechazar, como hace el mismo autor, la tercera premisa y mantener la primera cuando los resultados experimentales parecen invalidar la desigualdad de Bell y con-

firmar las predicciones cuánticas. En todo caso, si se sustituye la tercera premisa por un postulado de globalidad o inseparabilidad —con todas las dificultades que ello pueda suponer— para construir una teoría de variables ocultas no local, habría que reformular también la llamada premisa realista, porque no serían el mismo realismo el de la teoría local y el de la no local (39). El realismo, para hablar como Aristóteles, se dice de muchas maneras, y si la premisa local operativiza la realista correspondiente, una premisa no local tendría que operativizar un realismo diferente.

Ahora bien, el realismo, en cuanto posición epistemológica, es tal respecto de cierta ontología. Y es precisamente dicha ontología la que debe operativizarse metodológicamente, como lo muestra el caso anterior. Recalcar el realismo es, sin duda, siempre recalcar un realismo cuyo contenido operable es cierta ontología que lo determina y que queda adscrita a los objetos y no a los sujetos o a los signos. Por ello, dentro del marco realista es necesario siempre determinar las estructuras ónticas del dominio de objetos.

Se ha sostenido que, a grandes rasgos, los realismos cuánticos han consistido en gran medida en acentuar estructuras continuas (campales) o discontinuas (corpusculares) o terceras consideraciones que, asumiendo el realismo, prefieren no comprometerse con esas figuraciones. Los ejemplos son conocidos y es suficiente con pensar en de Broglie y Schrödinger para el primer caso (en sus momentos "realistas", por supuesto) en Landé para el segundo y en Bunge para el tercero como hice notar en la introducción. En realidad, Bunge sigue la vía correspondiente a una ontología sistémica que debe operativizarse con la correspondiente premisa metodológica (40).

Pero recalcar la importancia de la ontología puede hacerse principal cuando, como hace Hooker, la ontología suscrita se esgrime para entender las supuestas deficiencias actuales de la teoría cuántica (41). De acuerdo con Hooker, es necesario considerar las estructuras matemática y conceptual así como la ontología básica de la mecánica cuántica, y tomar nota consiguientemente de la solidaridad entre estructura matemática y ontología, para inferir de ello que el estado actual de la mecánica cuántica resulta de tener encubiertas dos ontologías inconmensurables —una continuista y otra discontinuista— aparejadas a sus respectivas formulaciones matemáticas (42). Los problemas de la teoría cuántica serían el resultado de una ontología bicéfala, cuya formulación matemática heredaría la misma duplicidad. Pero entre la estructura matemática y la ontología básica, la estructura conceptual, señalada en tercer lugar por Hooker, tiene función semejante a la que J. Mer-

leau-Ponty asigna al elemento conceptual entre el elemento matemático y el elemento experimental en las teorías físicas (43). Pero, tanto en un caso como en el otro, la escala en que deben hacerse las distinciones y precisiones para cada teoría física viene determinada por la estructura matemática. Para Hooker, la mecánica cuántica es la fusión de las estructuras matemáticas características de una teoría de partículas, por un lado, y de una teoría de campo, por el otro, precisamente porque en ella se mezclan una ontología atomista y una ontología "plenista" (44). Claro está que ambas deben quedar unidas —mal unidas por cierto, si hemos de creer a Hooker— por una estructura conceptual también bicéfala, de la cual serían extremos la estructura matemática y la ontología básica.

Sin embargo, para entender a Hooker y a Merleau-Ponty, hay que concebir el elemento o estructura conceptual desde una perspectiva semántica —en particular, representativa: relación signo-objeto. Pero esta perspectiva es factorizable simbólica, objetiva o subjetivamente, según sean signos, objetos o sujetos los terminos mediadores que se repiten en las relaciones factores de la relación representativa. En el caso del realismo, se trataría de una mediación objetiva, mientras que un punto de vista nominalista remitiría a mediaciones simbólicas y uno operacionalista a mediaciones subjetivas (en el sentido metodológico en que cabe hablar de los sujetos como soportes de operaciones) (45).

Esto supuesto, es necesario distinguir, en la forma relacional del realismo, las dos relaciones que configuran la relación óptica simbólicamente mediada, la subordinación de estas dos relaciones a una relación representativa y la composición de las tres relaciones que, para tener valor científico, debe subordinarse, en la perspectiva metodológica, a relaciones normativas. Pero como la relación representativa resultante que así ha de subordinarse a normas comienza por signos, la relación metodológica que la subordina al operativizarla no puede hacerlo sino a través de relaciones simbólicas. Su forma general podría ser ésta:

$$(s_i, S_i)/(S_i, s_j)/(s_j, O_i)/(O_i, s_k)/(s_k, O_j) = (s_i, O_j),$$

en la cual se muestran todas las conexiones necesarias (46). Se trata de una estructura relacional que resulta en una representación y que contiene las tres perspectivas —metodológica, ontológica y simbólica— cuando se examinan sus articulaciones internas. Su diferencia con el punto de vista operacionalista reside en las diferencias de las relaciones factores y su conexión. El operacionalismo tendría asociada una forma semejante a

$$(s_i, S_i)/(S_i, s_j)/(s_j, S_j)/(S_j, s_k)/(s_k, O_i) = (s_i, O_i),$$

donde la ontología realista sería reemplazada por operaciones técnicas mediadas simbólicamente, por lo cual las relaciones "ónticas" de la teoría serían las interacciones sujeto-objeto, mediadas por signos que habría que considerar incorporados en los instrumentales, es decir, de acuerdo con las relaciones incorporativas consideradas en el contexto propuesto en este trabajo (47). Atendiendo a su estructura relacional, el operacionalismo sustituye la ontología del realismo, no por otra ontología, sino por una tecnología. Su modelo de ciencia estaría cerca de lo que García Bacca llama ciencia de tecnemas, frente a las ciencias de teoremas, modelo al que pretende acogerse el punto de vista realista (48).

Evidentemente, lo anterior constituye sólo un punto de partida para exámenes más minuciosos, pero de momento basta para tomar nota de que el contexto presentado al comienzo puede servir, cumplidos los análisis de detalle necesarios, para esclarecer algunas cuestiones referentes al tema titular de este artículo. Por de pronto arroja el resultado de que todo realismo científicamente operativo debe concebirse a partir de la operativización metodológica de una ontología semánticamente asumida, y que, a través de esta concepción general, puede entenderse su oposición al operacionalismo como filosofía alternativa.

Por otro lado, también apunta que el realismo es siempre un realismo correlativo a presupuestos operativos determinados, por lo cual un cambio metodológico lleva consigo cambios ontológicos que se manifiestan en la semántica de la teoría— de ahí la reclamación del elemento conceptual. Pero ese elemento conceptual seguirá siendo un mediador confuso, mientras no se desarrolle una adecuada teoría del concepto, a la cual me he referido en otro lugar (49). Simplemente conviene indicar que una teoría del concepto no ha de reducirse a una teoría lingüística de los términos y debe ser ya la exposición del concepto como una especie de proto-teoría, único modo de que efectivamente el concepto sea un verdadero elemento unificador del conocimiento científico en su misma realización.

Universidad de León

#### NOTAS

- (1) Mario Bunge, Controversias en física, Madrid: Tecnos, 1983. En mi reseña de este libro (Contextos, I/2, 1983, p. 159) falta una línea del texto aquí citado, lo que da como resultado una frase incorrecta: "ninguna teoría de variables ocultas, deberá ser no local".
- (2) Las ideas expuestas entonces se apoyaban por primera vez en el contexto que en adelante se aludirá. Desde entonces he utilizado dicho contexto en repetidas ocasiones. Los lugares correspondientes se harán constar en las notas.
- (3) Cf. Mario Bunge, Filosofía de la física, trad. de J. L. Garcia Molina, Barcelona: Ariel, 1978, p. 110 y ss.
- (4) "Sostenemos que la ciencia, considerada como un sistema metodológico vivo, ha de proporcionar la clave para resolver el enigma de la realidad..., así como el proceso generador de los números señala y define al infinito, así también es la metodología de la ciencia física la que define la realidad física" (Henry Margenau, La naturaleza de la realidad física, trad. de Adolfo Martín, Madrid: Tecnos, 1970, p. 24).
- (5) Cf. Juan Ramón Alvarez, "Sobre método y concepto", Estudios Humanísticos, 4, 1982, pp. 93-111. "El valor de las definiciones". Contextos, 1, 1983 pp. 129-152.
- (6) Cf. Charles W. Morris. Fundamentos de la teoría de los signos, trad. de Esther Torregó, en el volumen, compilado por Francisco Gracia, Presentación del lenguaje, Madrid: Taurus, 1972, pp. 58-59.
- (7) Es claro que introduciendo otros criterios saldrían otras relaciones: por ejemplo, desglosando los signos en el par significante/-significado, o completando el triángulo de Richards con los sujetos lingüísticos, triángulo rectificado en rectángulo que admitiría, si se quiere continuar, la introducción del par saussureano; sin embargo, para este inventario mínimo consideramos suficiente la terna de Morris. Para una rectificación del triángulo de Richards, con la introducción del par saussureano, cf. Bonifacio Rodríguez Díez, Las lenguas especiales: el léxico del ciclismo, Colegio Universitario de León, 1981, pp. 73-74.
- (8) Para mayor simplicidad no utilizo subíndices en los términos de estas relaciones; sin embargo, cuando en la segunda sección los utilice, tienen el fin de evitar la apariencia de trivialidades o tautologías, sobre todo en el caso de relaciones homogéneas, en las cuales los subíndices aluden a que los términos relacionados son de distinto tipo o escala, caso particular de lo cual sería que correspondieran al mismo nivel o escala.
- (9) Una exposición de esta recurrencia normativa se puede encontrar en Alvarez, "Sobre método y concepto", pp. 98-99.
- (10) He desarrollado el concepto de nivel de resolución de una ciencia en Juan Ramón Alvarez, "El nivel de resolución de las ciencias biológicas", Estudios Humanísticos, 3, 1981, pp. 69-93.

(11) Cf. nota 6.

(12) El tema del sujeto científico es pluridimensional, puesto que las relaciones sociales (S, S) en que se realizan las operaciones de unos sujetos sobre otros, dan lugar a la formación de unidades "subjetivas" supraindividuales, tales como equipos de investigación, etc. Estas unidades supraindividuales deben establecerse en cada caso para efectos de análisis. Esto ha hecho a García Bacca hablar de que la ciencia está unificada por una "supernaturaleza humana de tipo social". Cf. Juan David García Bacca, Elementos de filosofía de las ciencias, Caracas: Universidad Central de Venezuela, 1967, p. 122 y ss.

(13) Por el hecho de subordinar a representaciones las relaciones con predominio objetivo, lo cual, a pesar de producir formalmente los mismos resultados (las mismas relaciones resultantes) que la subordinación de operaciones a normas, supone, sin embargo, una génesis distinta.

(14) La perspectiva simbólica paralela a las dos anteriores, con inclusión de subíndices para evitar las apariencias triviales (cf. nota 6), podría resumirse en esquema como sigue:

$$\begin{aligned}(s_i, s_j)/(s_i, s_k) &= (s_i, s_k) \\(s_i, s_j)/(s_j, O_i) &= (s_i, O_i) \\(s_i, s_j)/(s_j, S_i) &= (s_i, S_i)\end{aligned}$$

(15) Las estructuras equivalentes de génesis diferente garantizan que las verdades científicas no sean meras trivialidades: las identidades resultan ser "identificaciones" por medio de cursos diferentes que no aparecen en los resultados, pero sin los cuales sería imposible llegar a ellos.

(16) Introduzco "metodografía" en oposición a "metodología" en forma análoga a como a veces se opone la etnografía a la etnología, entendiendo que la primera suministra descripciones que la segunda debe explicar. En este sentido los esquemas metodográficos sientan las bases sobre las cuales debe proceder el análisis propiamente metodológico.

(17) Cf. Louis de Broglie, Une tentative d'interprétation causale et non linéaire de la mécanique ondulatoire: la théorie de la double solution, París: Gauthier-Villars, 1956, y "L'interprétation de la mécanique ondulatoire", recogido en Louis de Broglie, Nouvelles perspectives en microphysique, París: Albin Michel, 1956, pp. 203-231.

(18) Se resume aquí el planteamiento dado por de Broglie en "L'interprétation de la mécanique ondulatoire".

(19) Ibid., p. 217.

(20) Ibid., p. 218.

(21) Cf. Ibid., p. 219.

(22) Siempre cabe preguntarse de la adecuación meramente metodológica,

cuando ésta es interpretada como útil, pero no como verdadera, si acaso no resulta útil en el conocimiento por ser verdadera dentro de una aproximación adecuada. Pero es claro que tratar esta cuestión rebasa el ámbito de la metodografía e incluso de la metodología en sentido restringido.

(23) "Cette onde habituellement considérée, l'onde  $\Psi$ , se trouvant... privée de l'accident localisé que transporte l'onde objective, deviendrait une onde fictive, à caractère subjectif, qui permettrait encore de faire des prévisions statistiques exactes, mais ne pourrait plus fournir une image concrète du corpuscule. On rejoint ainsi les idées... sur la distinction introduite par la théorie de la double solution entre l'onde objective à caractère concret et l'onde subjective, simple représentation de probabilité" (Louis de Broglie, "Les représentations concrètes en mycrophysique", en Logique et connaissance scientifique, dirigido por Jean Piaget, París: Gallimard, 1967, p. 721. Cf. también "L'interprétation de la mécanique ondulatoire", p. 219.

(24) Cf. Albert Messiah, Mecánica cuántica, trad. de C. de Azcárate y J. Tortellá, Madrid: Tecnos, 1973, vol. I, p. 42, nota 10.

(25) Cf. Ibid., vol. I, p. 55.

(26) Cf. R. K. Bullough, "Bose-Fermi equivalence and soliton theory in solid-state physics", Nature, 292, 1981, pp. 411-412, y Messiah, op. cit., vol. II, p. 837 y ss.

(27) Cf. Claudio Rebbi, "Solitones", Investigación y ciencia, Abril de 1979, pp. 64-81, y Bullough, loc. cit.

(28) "... el solitón que emerge se hace estable a la dispersión debido a la topología de la configuración del campo" (Rebbi, loc. cit., p. 78).

(29) Cf. Rebbi, loc. cit., p. 79.

(30) Cf. Paulette Fèvrier, Déterminisme et indéterminisme, París: Presses Universitaires de France, 1955, p. 213 y ss.

(31) Ibid., p. 214.

(32) De Broglie, "L'interprétation de la mécanique ondulatoire", p. 218.

(33) Bernard d'Espagnat, "Teoría cuántica y realidad", Investigación y ciencia, Enero, 1980, pp. 80-95: cf. también A la recherche du réel, le regard d'un physicien, París: Gauthier-Villars, 1979.

(34) En palabras de Bub, esta condición significa: "that the macro-environment of a microsystem need not include the whole universe. This is the locality assumption" (Jeffrey Bub, "On the completeness of Quantum Mechanics", en C. A. Hooker (compilador), Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory, Dordrecht: Reidel, 1973, p. 33).

(35) A. Einstein, B. Podolsky y N. Rosen, "Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?", Physical Review, 47, 1935, p. 777.

(36) "We see therefore that, as a consequence of two different measurements performed upon the first system, the second system may be left in states with two different wave functions. On the other hand, since at the time of measurement the two systems no longer interact, no real change can take place in the second system in consequence of anything that may be done to the first system" (Ibid., p. 779). El subrayado es mio.

(37) Cf. John S. Bell, "On the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox", Physics, 1, 3, 1964, pp. 195-200, y d'Espagnat, loc. cit., pp. 86-89.

(38) "Sorprendentemente, las predicciones de la mecánica cuántica difieren de las teorías realistas locales. En particular, la mecánica cuántica predice que, para algunas elecciones de los ejes A, B, C, se viola la desigualdad de Bell, de suerte que hay más pares de protones  $A^+ B^+$  que pares combinados hay de  $A^+ C^+$  y  $B^+ C^+$ . Por tanto, las teorías realistas locales y la mecánica cuántica son antagónicas" (Ibid., p. 89).

(39) Pero si esto es así, si ocurriese que, como se ve, es necesario introducir otra premisa realista que ha de ser operativizada por una premisa no local, que supone una propagación instantánea, entonces habría que dar la razón a Bell cuando dice: "In fact, the Einstein-Podolsky-Rosen paradox is resolved in the way which Einstein would have liked least" (citado por Bub, loc. cit., p. 34). ¿Cuál sería en ese caso la condición suficiente de la existencia física? Por otro lado, como ha puesto de relieve d'Espagnat en polémica con Barreau, las experiencias que muestran violaciones de la desigualdad de Bell establecen... que no basta con abandonar la hipótesis de la complitud, sino que "il faut aussi abandonner le principe de separabilité" ("Réponse a Hervé Barreau", Revue de Métaphysique et de Morale, 86, 3, (1981), p. 380).

(40) Aparte de los trabajos citados de Broglie, cf. Filippo Selvaggi, Causalità e indeterminismo, Roma: Universidad Gregoriana, 1964, p. 331 y ss; Cf. Alfred Landé, Nuevos fundamentos de la mecánica cuántica, trad. de Víctor Sánchez de Zavala, Madrid: Tecnos, 1968. Sobre Bunge, cf. lo dicho en la "introducción".

(41) Cf. C.A. Hooker. "Metaphysics and Modern Physics. A Prolegomenon to the Understanding of Quantum Theory", en C. A. Hooker (compilador), Contemporary Research in the Foundations and Philosophy of Quantum Theory. pp. 176-304.

(42) "... thesis: Q(uantum) M(echanics) is a fusion of the characteristic mathematical structure of a field theory and a particle theory. Sub-thesis: The overall abstract structure of QM is that of a particle theory" (Ibid., p. 209). Estructura corpuscular y estructura campal que están ligadas, respectivamente, a lo que Hooker llama "atom and plenum schemas" (cf. Ibid., p. 211 y ss).

(43) Cf. Jacques Merleau-Ponty, Leçons sur la genèse des théories physiques: Galilée, Ampère, Einstein, París: Vrin, 1974, pp. 12-13.

(44) Cf. nota 42.

(45) Cf. nota 12.

(46) Esta forma no debe confundirse con la forma que muestra cómo la premisa local operativiza la premisa realista del conjunto de premisas ofrecido por d'Espagnat.

(47) Es decir, en esta forma el producto  $(S_i, s_k) / (s_k, O_i)$  sustituye al producto  $(O_i, s_k) / (s_k, O_i)$  de la forma realista, con el consiguiente "arrastré" de la subordinante del producto que es aquí una relación normativa, mientras que en el realismo se trata de una relación representativa.

(48) "Ciencia técnica es ciencia de tecnemas, o sea: conocimiento de una cosa o campo de cosas, por haberlas hecho según un plan, haberlas construido" (García Bacca, op. cit., p. 138).

(49) Cf. Alvarez, "Sobre método y concepto", pp. 105-111.