



<https://doi.org/10.15446/ideasyvalores.v71n8Supl.102872>

LA CONTROVERSIA ACERCA DE LA IDENTIDAD EN SU INGRESO AL ÁMBITO DE LA MECÁNICA CUÁNTICA



THE CONTROVERSY OVER IDENTITY AS IT ENTERED THE REALM OF QUANTUM MECHANICS

OLIMPIA LOMBARDI*

Conicet / Universidad de Buenos Aires - Buenos Aires – Argentina

MATÍAS DANIEL PASQUALINI**

Instituto de Investigaciones “Dr. Adolfo Prieto” /
Universidad Nacional de Rosario - Rosario - Argentina

.....
* olimpiafilo@gmail.com/ ORCID: 0000-0003-2204-7902

** matiaspasqualini@gmail.com/ ORCID: 0000-0003-0084-1363

Cómo citar este artículo:

MLA: Lombardi, Olimpia y Pasqualini, Matías “La controversia acerca de la identidad en su ingreso al ámbito de la mecánica cuántica.” *Ideas y Valores* 71.Supl. 8 (2022): 138-164.

APA: Lombardi, O y Pasqualini, M (2022). La controversia acerca de la identidad en su ingreso al ámbito de la mecánica cuántica. *Ideas y Valores* 71 (Supl 8), 138-164.

CHICAGO: Olimpia Lombardi y Matías Pasqualini. “La controversia acerca de la identidad en su ingreso al ámbito de la mecánica cuántica.” *Ideas y Valores* 71, Supl 8 (2022): 138-164.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License.

RESUMEN

Los criterios de identidad propuestos por la metafísica tradicional debieron ser sometidos a una profunda revisión cuando entró en escena la mecánica cuántica con sus característicos sistemas indistinguibles. En este trabajo aplicamos el modelo de espacios controversiales de Oscar Nudler para analizar la controversia sobre la identidad en el ámbito de la mecánica cuántica y proponer la introducción en el debate de una ontología cuántica de propiedades sin objetos.

Palabras clave: cambio conceptual, identidad de indiscernibles, indistinguibilidad cuántica, ontología de propiedades.

ABSTRACT

The identity criteria proposed by traditional metaphysics had to undergo a profound revision when quantum mechanics entered the scene with its characteristic indistinguishable systems. In this paper we apply Oscar Nudler's model of controversial spaces to analyze the controversy over identity in the field of quantum mechanics and propose the introduction of a quantum ontology of properties without objects into the debate.

Keywords: conceptual change, identity of indiscernibles, quantum indistinguishability, property ontology.

Introducción

El problema de la identidad es un tema tradicional de la metafísica. Mucho se ha escrito sobre los criterios que permiten singularizar los objetos que pueblan nuestra experiencia cotidiana. Se han formulado criterios basados exclusivamente en propiedades y otros que apelan a categorías que trascienden las propiedades. De una manera u otra, la noción de objeto y la de individuo se convirtieron virtualmente en coextensivas. Sin embargo, cuando el problema ingresó al ámbito de la mecánica cuántica, este supuesto debió reconsiderarse: la indistinguibilidad que pueden exhibir los sistemas cuánticos desafía el marco conceptual de la metafísica tradicional. La noción de individuo resulta para estos sistemas de difícil aplicación, lo cual condujo a la búsqueda de categorías ontológicas alternativas.

El objetivo del presente trabajo consiste en analizar la controversia en torno a la identidad en su ingreso al campo de la mecánica cuántica. Para ello se utilizará como herramienta conceptual el modelo de espacios controversiales, formulado por Oscar Nudler, para dar cuenta de diferentes etapas del debate. Sobre esta base, el trabajo se organizará del siguiente modo. En la segunda sección, se presentará el modelo de espacios controversiales, señalando sus principales elementos y resaltando sus diferencias y puntos de contacto respecto de otros modelos de cambio teórico. En la tercera sección, se describirá el espacio controversial en torno al concepto de identidad y sus criterios de determinación tal como aparecen en el ámbito de la metafísica. La cuarta sección se ocupará de describir brevemente el problema de la indistinguibilidad en mecánica cuántica, indicando el modo en que tal problema pone en crisis la noción metafísica tradicional de individuo. En la quinta sección, se describirá el modo en que el debate acerca de la identidad se desarrolla en el ámbito de la mecánica cuántica, lo que permitirá, posteriormente, en la sexta sección, poner de manifiesto el modo en que se reconfigura la controversia sobre la base de un proceso de refocalización, que desafía la propia categoría de individuo para los sistemas cuánticos. Finalmente, en la séptima sección se presentará la propuesta de una ontología de propiedades, que involucra una nueva refocalización del espacio controversial, puesto que pone en crisis la propia categoría de objeto. El trabajo se cierra con las conclusiones generales de la propuesta.

El modelo de espacios controversiales

El problema del cambio conceptual ha sido repetidamente abordado en el ámbito de la filosofía de la ciencia, recibiendo diferentes respuestas. Tanto el positivismo decimonónico como el positivismo lógico acentuaron el elemento de continuidad, dando lugar a una

concepción lineal y acumulativa del cambio científico. Una tesis central en este enfoque es que la racionalidad se ejerce por medio de un método suprahistórico que controla la evolución de las teorías. Frente a este enfoque tradicional, en la segunda mitad de siglo xx se desarrollaron alternativas que acentuaron el elemento de ruptura. El trabajo más representativo al respecto es *The Structure of Scientific Revolutions*, de Thomas Kuhn. De acuerdo con esta visión, el cambio científico tiene lugar a través de revoluciones en las que un paradigma es sustituido por otro como resultado de factores no necesariamente científicos. La clave aquí reside en que la racionalidad solo se ejerce de modo intraparadigmático. Sin embargo, una exploración atenta de la historia conceptual muestra que, contra la perspectiva kuhniana, a través de las revoluciones subsisten algunos criterios racionales y se conservan elementos de las teorías descartadas. Esto indica que el cambio conceptual no puede entenderse exclusivamente en términos de ruptura o continuidad. Es así como, después del impacto inicial de la obra de Kuhn, algunos pensadores desarrollaron nuevos modelos de cambio científico con el propósito de dar cuenta de ambos aspectos. En este contexto, el filósofo argentino Oscar Nudler propone un modelo aplicable no solamente al cambio científico, sino también al filosófico e, incluso, al cambio conceptual en general. Se trata del modelo de *espacios controversiales* (cf. 2001, 2003a, 2003b, 2004).

En el modelo de espacios controversiales, ni el método ni la historia son los protagonistas. La racionalidad se ejerce por medio de *controversias*. Ellas constituyen el principal factor de cambio conceptual. Una *controversia* se define como el intercambio crítico entre actores que adoptan diferentes posiciones frente a una cuestión problemática. Estas diferentes posiciones pueden ser teorías científicas rivales, posturas filosóficas o, en general, resultado de cualquier desacuerdo conceptual donde las partes se someten a ciertos parámetros de racionalidad. Las controversias no se dan aisladas, sino interrelacionadas en un *espacio controversial* que se define como el sistema de relaciones que vinculan las controversias que pueden tener lugar en un cierto momento histórico. Por supuesto, será tarea del historiador intelectual introducir un recorte del espacio controversial para su estudio, en función de algunos ejes que resulten de su interés. Además, las controversias que constituyen un espacio controversial pueden provenir de diferentes disciplinas, lo cual también distingue este modelo de cambio teórico del modelo original de Kuhn.

En un espacio controversial se pueden reconocer dos regiones: por una parte, el *foco* del espacio controversial consiste en un cierto conjunto de problemas respecto de los cuales las controversias se mantienen especialmente activas en un momento histórico dado; por otra,

el *terreno común* (*common ground*) es un conjunto de cuestiones no problematizadas y respecto de las cuales los actores intervinientes en las controversias del espacio controversial guardan un tácito acuerdo. El terreno común puede incluir presupuestos metafísicos, axiológicos, epistemológicos o simplemente metodológicos; incluso es posible que alguna teoría forme parte del él. Es precisamente el terreno común aquello que permite formular los desacuerdos involucrados en el foco en términos que hacen posible el intercambio racional. De no existir este terreno común, las partes que intervienen en las controversias caerían en una indiferencia recíproca o en un conflicto que solo podría dirimirse de modo no racional. En cualquiera de ambos casos, los desacuerdos perderían su condición de controversias y quedarían fuera del espacio controversial.

Un espacio controversial está sujeto a diferentes tipos de evoluciones. En una evolución *progresiva*, el terreno común permanece firme, las controversias conducen al consenso y el foco se desplaza barriendo un espectro cada vez más amplio de problemas. Este tipo de evolución se corresponde con el periodo de *ciencia normal* del modelo de Kuhn (cf. 1996 23-34). En una evolución *regresiva*, el terreno común comienza a erosionarse y el foco controversial se desdibuja. En este caso, los desacuerdos son cada vez más difíciles de formular en términos que permitan un intercambio racional entre las partes. Esta evolución puede llevar a una situación de *bloqueo conceptual*, en la cual el espacio controversial corre riesgo de desestructurarse; en algunos casos, este fenómeno se corresponde con la *crisis científica* del modelo kuhniano, pero en otros se trata de una situación en la que las discusiones se extinguen no porque se haya alcanzado un consenso, sino por motivos externos a la propia controversia (cf. el caso del espacio controversial en torno al problema de la irreversibilidad en Lombardi 2011).

Por último, la forma de evolución en la que el modelo muestra su principal virtud explicativa es el proceso de *refocalización*, que suele producirse tras una situación de bloqueo conceptual. Dicho proceso consiste en una reorganización del espacio controversial, en el que el foco controversial se desplaza precisamente a la región que anteriormente constituía el terreno común. Cuando se produce una refocalización, se revisan aquellos presupuestos que en muchos casos permanecían implícitos para los actores que intervenían previamente. En muchos casos, esta evolución es el resultado de la aparición de un tercer actor y conduce a la constitución de un nuevo *common ground* que hace posible plantear nuevos desacuerdos en sentido progresivo; a su vez, supone la introducción de conceptos innovadores o la resignificación de conceptos ya existentes. La refocalización del modelo de Nudler (cf. 2003b, 2004) se corresponde en cierto sentido con la revolución científica del

modelo de Kuhn. Sin embargo, a diferencia de la propuesta kuhniana, la refocalización del espacio controversial es una evolución que admite no solamente factores provenientes del contexto sociohistórico, sino también factores racionales. La refocalización es un caso particular dentro de los desplazamientos del foco que son posibles a causa de la dinámica de intercambio racional propia de las controversias.

El modelo de espacios controversiales ha sido aplicado con éxito a discusiones cuya evolución difícilmente podría ser evaluada en términos completamente rupturistas (cf. Nudler 2009; Varela Machado). En este trabajo, el modelo se aplicará a la discusión acerca de la identidad en su ingreso al ámbito de la mecánica cuántica, con la expectativa de dar cuenta de su evolución pasada y de plantear alguna perspectiva sobre su evolución futura.

Identidad en metafísica

La cuestión acerca de la *identidad* es un tópico tradicional de la metafísica. Si bien los debates en torno de esta cuestión han sido múltiples y variados, aquí solo se recordarán algunos de ellos con el objeto de delinear la estructura de este espacio controversial. Habitualmente se establece la distinción entre *identidad cualitativa* e *identidad numérica* (cf. Noonan y Curtis). La identidad cualitativa es una relación entre dos objetos que tienen ciertas propiedades en común, y se trata de una cuestión de grado. La identidad numérica, en cambio, es una relación que un objeto tiene solo con sí mismo, y supone identidad cualitativa absoluta. La discusión en el presente trabajo se refiere exclusivamente a la identidad numérica y, por tanto, cuando se utilice el término *identidad* será en el sentido de identidad numérica, salvo indicación contraria.

Si se considera con detenimiento, esta primera caracterización de la noción de identidad numérica resulta circular. En efecto, identificar una relación que un objeto tiene solo con sí mismo supone una distinción entre el objeto y todos los demás, distinción que no se puede establecer sin presuponer la noción de identidad. Por ello, se instala la búsqueda de criterios de identidad mejor especificados. Un *criterio de identidad sincrónica* es el que permite identificar un objeto y distinguirlo de todos los demás en un determinado instante de tiempo. Un *criterio de identidad diacrónica* es el que permite identificar un objeto a través de sucesivos instantes de tiempo.

El criterio de identidad sincrónica puede depender de una categoría ontológica que trascienda las propiedades del objeto. Este enfoque se conoce como *individualidad trascendental* (*transcendental individuality*) (Post). Un ejemplo típico de este enfoque es el que apela a la noción de *sustancia* de Locke. La *haecceitas* de Duns Scoto, aún empleada en metafísica contemporánea (Kaplan 216), es otro caso posible. Alternativamente,

el enfoque conocido como *individualidad de haz* (*bundle individuality*) (cf. Armstrong 59) busca un criterio de identidad que depende exclusivamente de las propiedades de un objeto. Según este segundo enfoque, el objeto es solamente un haz de propiedades y la identidad se define como la relación de equivalencia (reflexiva, simétrica y transitiva) que satisface la ley de Leibniz (conjunción del principio de identidad de los indiscernibles y del principio de indiscernibilidad de los idénticos).

El principio de indiscernibilidad de los idénticos establece que si x e y son idénticos (nombran el mismo objeto),¹ entonces les aplican exactamente las mismas propiedades (tienen identidad cualitativa absoluta). Formalmente,

$$\forall x \forall y \left[(x = y) \Rightarrow \forall P (Px \Leftrightarrow Py) \right]$$

No es problemático afirmar que la relación de identidad satisface esta condición. Sin embargo, ella sola no puede funcionar como un criterio de identidad, ya que la relación de identidad aparece en el antecedente. La conversa de este principio, el principio de identidad de los indiscernibles (PII), establece que si a x y a y les aplican exactamente las mismas propiedades, entonces son idénticos (nombran el mismo objeto). Formalmente,

$$\forall x \forall y \left[\forall P (Px \Leftrightarrow Py) \Rightarrow (x = y) \right]$$

El PII sí podría funcionar como criterio de identidad, ya que aquí la relación de identidad aparece en el consecuente. Sin embargo, un nuevo problema surge cuando se intenta especificar cuál es el subconjunto mínimo de propiedades que resulta suficiente para obtener la identidad. Por supuesto, si se incluye en el subconjunto la relación de identidad como una de las propiedades relevantes, el PII se convierte en una verdad lógica; por ello, se la excluye de antemano para evitar la circularidad. Habitualmente, el PII se presenta en tres versiones, que se distinguen en función del subconjunto de propiedades consideradas relevantes (cf. French y Krause 7):

PII(1). Si dos objetos tienen todas sus propiedades monádicas y relacionales en común, entonces son idénticos.

1 Esta idea de identidad se corresponde con la noción fregeana, según la cual la identidad es una relación entre nombres que se satisface cuando los dos nombres nombran el mismo objeto.

PII(2). Si dos objetos tienen todas sus propiedades monádicas y relacionales en común, excepto las espaciotemporales, entonces son idénticos.

PII(3). Si dos objetos tienen todas sus propiedades monádicas en común, entonces son idénticos.

Estas tres versiones se ordenan de menor a mayor fuerza lógica. Por supuesto, todas aceptan que una diferencia en una propiedad monádica discierne. Según PII(1), la versión más débil, cualquier propiedad discierne, incluso simples diferencias espaciotemporales. PII(2) admite que cualquier propiedad relacional es capaz de discernir (exceptuando las propiedades espaciotemporales). En contra de estas dos versiones se ha argumentado que las relaciones no pueden discernir porque suponen la previa distinción de los *relata*. PII(3), la más fuerte, exige que solo propiedades monádicas discernan.

PII(2) y PII(3), siendo más fuertes, están expuestas a contraejemplos, y se admite que, en el mejor de los casos, pueden llegar a ser contingentemente verdaderas. Generalmente se considera que quedan refutadas en el dominio clásico (no cuántico). El ejemplo tradicional de tal refutación es el famoso caso de las esferas de Black (*cf.* 156): dos esferas exactamente iguales en un espacio newtoniano vacío comparten todas sus propiedades monádicas y relacionales, salvo las espaciotemporales y, sin embargo, son dos objetos. PII(1), siendo la más débil, es la única versión candidata a ostentar necesidad metafísica.

El criterio de identidad diacrónica, a diferencia del anterior, permite identificar un objeto a través del tiempo. El ejemplo típico al respecto es el del barco de Teseo: si las piezas que lo constituyen se van sustituyendo a lo largo del tiempo, ¿deja de ser el mismo barco en algún momento? Dos concepciones de objeto entran en juego aquí (*cf.* Lewis 202). De acuerdo con el *perdurantismo*, los objetos se extienden no solo en el espacio sino también en el tiempo; por ello, no están plenamente presentes en cada instante, sino que tienen partes temporales. El *perdurantismo* supone la adopción de un marco cuatridimensional para emplazar los objetos. La concepción alternativa, que se conoce como *endurantismo*, sostiene que los objetos solo tienen partes espaciales y que están plenamente presentes en cada instante en que existen. Sea cual sea la concepción de objeto que se adopte, habitualmente se considera que la continuidad espaciotemporal más el argumento de impenetrabilidad (IA) son suficientes para identificar un objeto a través del tiempo; es decir, el objeto *x* es idéntico al objeto *y* si existe una trayectoria espaciotemporal continua que los une: en este caso, *x* y *y* son el mismo objeto según la concepción endurantista, mientras que *x* y *y* son partes temporales de un mismo objeto según la concepción perdurantista.

En resumen, el debate que caracteriza el espacio controversial delimitado en la presente sección involucra diversos problemas interrelacionados y diferentes posturas frente a ellos. El problema central, el foco del espacio, es el de la determinación del criterio de identidad numérica, problema que se desdobra en dos aspectos, el sincrónico y el diacrónico. Por un lado, el problema del criterio de identidad sincrónica da lugar a dos familias de respuestas: los objetos se identifican en virtud de alguna categoría que trascienda las propiedades o los objetos son haces de propiedades que se identifican en función de ellas (individualidad trascendental versus individualidad de haz). La *teoría del haz (bundle theory)* (cf. French y Krause 7) adopta el PII como criterio de identidad; no obstante, según qué propiedades se incluyan, el principio se presenta en diferentes versiones, cada una con sus propias dificultades, las cuales difieren en cuanto al carácter necesario o contingente del principio. Por otro lado, el problema del criterio de identidad diacrónica se suele resolver en términos de continuidad espaciotemporal; sin embargo, sobre este acuerdo se enfrentan dos concepciones diferentes de objeto: el perdurantismo y el endurantismo.

¿Qué supuestos constituyen el terreno común de este espacio controversial? Como se señaló, allí aparecen cuestiones no problematizadas y respecto de las cuales los actores intervinientes permanecen de acuerdo. En este caso, forma parte del terreno común el supuesto de que los objetos son *individuos*, esto es, pueden ser sincrónica y diacrónicamente identificados empleando criterios apropiados. También se adopta tácitamente una ontología de individuos y propiedades: en este sentido, los defensores de la individualidad trascendental y de la individualidad de haz coinciden. La diferencia entre ambos consiste en que para los primeros el criterio de identidad no reposa en las propiedades, mientras que para los segundos se define exclusivamente en términos de propiedades.

La evolución de este espacio controversial resulta progresiva mientras este permanezca dentro del ámbito de la metafísica pura o se ensaye una aplicación del criterio de identidad dentro del ámbito de la física clásica. Si trasladamos la discusión al ámbito cuántico, el espacio se aproxima a una situación de bloqueo conceptual, por razones que quedarán claras en las secciones siguientes.

Indistinguibilidad en mecánica cuántica

Existen circunstancias en las que la física debe lidiar con sistemas compuestos donde no es técnicamente posible acceder al estado de cada uno los subsistemas que los constituyen. Piénsese, por ejemplo, en un volumen de gas compuesto por una cantidad muy grande de moléculas. El sistema compuesto tendrá ciertas propiedades *macroscópicas*

que se corresponden con ciertos estados de los subsistemas. En estas circunstancias, se recurre a métodos estadísticos para determinar la distribución de probabilidad correspondiente a los valores posibles de cada propiedad macroscópica. Para ello, es necesario considerar todas las posibles complejiones que puede asumir el sistema compuesto en función de los distintos estados que pueden tener sus subsistemas. Esta cuestión puede ilustrarse mediante un modelo sencillo con dos sistemas, S_A y S_B , y dos estados posibles $|\Psi_1\rangle$ y $|\Psi_2\rangle$. En el caso clásico, existen aquí cuatro posibles complejiones del sistema compuesto $S_A \cup S_B$ (Fortin y López):

- (1) S_A y S_B se encuentran ambos en el estado $|\Psi_1\rangle$.
- (2) S_A se encuentra en el estado $|\Psi_1\rangle$ y S_B en el estado $|\Psi_2\rangle$.
- (3) S_B se encuentra en el estado $|\Psi_1\rangle$ y S_A en el estado $|\Psi_2\rangle$.
- (4) S_A y S_B se encuentran ambos en el estado $|\Psi_2\rangle$.

La mecánica estadística clásica, adoptando el principio de equiprobabilidad, asigna igual probabilidad a cada una de las cuatro complejiones:

$$p(1) = p(2) = p(3) = p(4) = \frac{1}{4}.$$

Supóngase también que cierta propiedad macroscópica A tiene valores posibles $\{a_1, a_2, a_3\}$ de modo tal que la propiedad $A : a_1$ se corresponde con la complejión (1), la propiedad $A : a_2$ se corresponde con las complejiones (2) y (3) y, finalmente, la propiedad $A : a_3$ se corresponde con la complejión (4). Nótese que la complejión (3) es resultado de permutar los subsistemas de la complejión (2) y viceversa. Macroscópicamente, no es posible distinguir entre los casos (2) y (3), ya que (i) no se puede efectuar una medición de estado de S_A y S_B , y (ii) ambas complejiones se corresponden con una misma propiedad macroscópica $A : a_2$. Sin embargo, la existencia de dos complejiones diferentes tiene consecuencias estadísticas, ya que la probabilidad de obtener $A : a_2$ difiere de las probabilidades de obtener $A : a_1$ y de obtener $A : a_3$. A saber,

$$p(A : a_2) = \frac{1}{2}.$$

Mientras que

$$p(A : a_1) = p(A : a_3) = \frac{1}{4}.$$

Por lo tanto, los sistemas S_A y S_B son objetos *distinguibles*, ya que su permutación da lugar a una complexión distinta del sistema compuesto. Este comportamiento estadístico, que es el que manifiestan los sistemas clásicos, se describe mediante la llamada *estadística de Maxwell-Boltzmann*.

En el ámbito cuántico el panorama es diferente. El modelo anterior, en el caso cuántico, sigue teniendo dos sistemas y dos estados. Sin embargo, en lugar de cuatro complexiones, solo son posibles tres (para el caso de bosones):

- (a) Ambos sistemas se encuentran en el estado $|\Psi_1\rangle$.
- (b) Un sistema se encuentra en el estado $|\Psi_1\rangle$ y el otro en el estado $|\Psi_2\rangle$.
- (c) Ambos sistemas se encuentran en el estado $|\Psi_2\rangle$.

Nótese que se han abandonado las etiquetas S_A y S_B .

Aplicando el principio de equiprobabilidad, se obtienen las probabilidades.

$$p(a) = p(b) = p(c) = \frac{1}{3}.$$

¿Cómo se explica el hecho de que un mismo modelo provee diferente número de complexiones al pasar del ámbito clásico al cuántico? En primer lugar, debe admitirse que los sistemas cuánticos son *indistinguibles*, ya que, si fueran distinguibles, una permutación de sistemas en la complexión (b) daría lugar a una cuarta complexión, como en el modelo clásico considerado anteriormente. En segundo lugar, aunque indistinguibles, se debe admitir que los sistemas son dos, violando incluso la forma más débil del PII. En efecto, si se verificara el PII y los objetos tuvieran identidad numérica, obtendríamos solamente dos complexiones, y no tres. La mecánica cuántica plantea una peculiar situación en la que objetos indistinguibles tienen, contra lo esperado, *diferencia solo número*, esto es, si bien poseen absolutamente todas sus propiedades en común, son numéricamente diferentes, o sea, no son el mismo objeto. Como consecuencia, no tiene sentido conservar etiquetas para cada sistema singular. De modo general, en mecánica cuántica esta característica se expresa en el llamado *postulado de indistinguibilidad* (PI) (cf. Butterfield 455):

PI: Si el vector $|\psi\rangle$ representa el estado de un sistema compuesto cuyos componentes son partículas indistinguibles, entonces el valor medio de un observable representado por un operador O debe ser el mismo para $|\psi\rangle$ y para cualquier permutación $|\psi'\rangle$.

Formalmente,

$$|\psi'\rangle = P|\psi\rangle : \langle\psi'|O|\psi'\rangle = \langle\psi|O|\psi\rangle.$$

donde P es el operador de permutación. Para lidiar con objetos indistinguibles que difieren solo número, la mecánica cuántica introduce además el *postulado de simetrización*, que añade una restricción sobre el universo de estados posibles de un sistema compuesto de sistemas indistinguibles, de manera de satisfacer el PI. El estado de dichos sistemas compuestos debe ser simétrico o antisimétrico respecto del operador de permutación. Formalmente (cf. Fortin y Lombardi 10),

ps: Un sistema de múltiples partículas idénticas se representa por medio de un estado totalmente simétrico (bosones) o totalmente antisimétrico (fermiones), donde la simetría y antisimetría se define en términos del operador de permutación P :

$$|\psi'\rangle = P|\psi\rangle = \pm|\psi\rangle.$$

Esto significa que el estado del sistema compuesto debe permanecer *invariante* (o ser igual a su producto con (-1) si el estado es antisimétrico) tras realizar una permutación entre subsistemas. La diferencia entre bosones y fermiones se desprende de este requerimiento. Por un lado, el PI puede ser satisfecho por estados simétricos. En el modelo anterior, este caso corresponde a las tres complejiones (a), (b) y (c). Los sistemas que se describen mediante estados simétricos se comportan de acuerdo con la *estadística de Bose-Einstein*; de aquí su nombre de *bosones*. Un ejemplo de este tipo de partículas son los fotones. Por otro lado, el PI también puede ser satisfecho por estados antisimétricos. Si un estado es antisimétrico, los dos subsistemas no pueden ocupar el mismo estado; por ejemplo, si un subsistema ocupa $|\Psi_1\rangle$, el otro deberá ocupar $|\Psi_2\rangle$ (principio de exclusión de Pauli). En el modelo anterior, este caso corresponde a una única complejión, la (b). Los sistemas que se describen mediante estados antisimétricos se comportan de acuerdo con la *estadística de Fermi-Dirac*; de aquí su nombre de *fermiones* (cf.

Ballentine 475). Un ejemplo de este tipo de partículas son los electrones.

¿Cómo se transforma el espacio controversial, delimitado en la sección anterior, cuando la cuestión metafísica de la identidad ingresa en el ámbito de la mecánica cuántica? Las peculiaridades de la estadística cuántica condujeron a una *refocalización* del espacio. Como fue señalado, según el modelo de Nudler, una refocalización es una transformación del espacio controversial en la que se produce una modificación del foco. En muchos casos, el proceso se produce porque algún elemento del terreno común pasa a convertirse en el foco del espacio en la nueva etapa: aquello que antes se daba por supuesto pasa a ser objeto de debate. En el ámbito metafísico, se daba por supuesto que los objetos, respecto de los cuales se discutía el criterio de identidad numérica, eran individuos. La mecánica cuántica puso en evidencia que ciertos objetos indistinguibles se diferencian solo numéricamente. Para los defensores de la individualidad de *haz*, este hecho constituye una seria objeción, ya que para ellos la indistinguibilidad o indiscernibilidad respecto de un conjunto de propiedades relevantes es la piedra de toque de la individualidad. Pero la mecánica cuántica también conduce a reconsiderar el enfoque de la individualidad trascendental, según el cual los objetos no se distinguen por sus propiedades, sino por algo que subyace a ellas. Por este motivo, lo que entra en crisis es la categoría misma de individuo en el caso de los sistemas cuánticos. Este nuevo elemento introducido en el espacio controversial permitirá su reestructuración y una nueva evolución progresiva.

La controversia acerca de la indistinguibilidad

A la luz del proceso de transformación mencionado en la sección anterior, ya desde los orígenes de la mecánica cuántica, diferentes posiciones vienen enfrentándose respecto de la naturaleza de los sistemas cuánticos, problema que ha pasado a convertirse en el nuevo foco del espacio controversial.

La postura conocida como *visión recibida* se hizo dominante durante el inicio histórico del espacio controversial en su ingreso a la mecánica cuántica y se convirtió en punto de referencia para su posterior evolución. Según esta postura, que tiene origen en las afirmaciones de algunos de los fundadores de la mecánica cuántica (Max Born y Werner Heisenberg), los objetos cuánticos no poseen individualidad en ningún sentido, son “no-individuos” (Post), y esto ocurre por dos motivos: en primer lugar, el postulado de indistinguibilidad (π_1) de la mecánica cuántica parece bloquear la aplicación a los objetos cuánticos del criterio de identidad sincrónica provisto por el π_1 ; en segundo lugar, existe una característica de la mecánica cuántica conocida como

contextualidad que impide la aplicación del criterio de identidad diacrónica usual en mecánica clásica. Recuérdese que en el dominio clásico se considera que la continuidad de la trayectoria espaciotemporal de un objeto permite su reidentificación a través de los sucesivos instantes. Sin embargo, en virtud de la contextualidad cuántica, existen propiedades incompatibles, lo que significa que, si los objetos cuánticos tienen un cierto conjunto de propiedades definidas (un cierto *contexto*), necesariamente otro conjunto de propiedades (las incompatibles con las anteriores) permanecerán indefinidas. Si bien no es este el lugar para profundizar en el problema de la contextualidad cuántica, lo dicho es suficiente para comprender los obstáculos que impone a la identidad diacrónica. Puesto que las propiedades *posición* y *momento* son incompatibles, los sistemas cuánticos no poseen trayectorias espaciotemporales definidas que permitan identificarlos diacrónicamente.

Ante la inaplicabilidad de los criterios de identidad clásicos, la visión recibida recomienda abandonar la categoría de individuo para los sistemas cuánticos. La propuesta es radical y se refleja claramente en las primeras discusiones sobre el problema de la indistinguibilidad. Tal vez la referencia más conocida es la de Hermann Weyl:

La posibilidad de que uno de los gemelos idénticos Mike y Ike esté en el estado cuántico E_1 y el otro en el estado cuántico E_2 no incluye dos casos distinguibles que se permutan al permutar Mike y Ike; es imposible que cualquiera de estos individuos conserve su identidad para que uno de ellos siempre pueda decir “Soy Mike” y el otro “Soy Ike”. (241)

La visión recibida encuentra respaldo filosófico en el desarrollo de la teoría de cuasiconjuntos (*quasi-set theory*), que permite su tratamiento formal (cf. Krause). Se trata de un formalismo en el cual la identidad no está bien definida para todos los tipos de objetos. Esta propuesta responde al problema de que las colecciones de objetos cuánticos no pueden ser consideradas conjuntos en el sentido de la teoría de conjuntos de Zermelo-Fraenkel. En cambio, las colecciones de objetos cuánticos sí pueden ser formalizadas por medio de cuasiconjuntos, ya que estos tienen cardinal pero no ordinal. Es decir, un cuasiconjunto permite determinar la cantidad de objetos numéricamente diferentes que lo integran, si bien no es posible identificarlos para determinar una sucesión ordenada.

Diversas perspectivas ingresan a este espacio controversial para enfrentarse a la visión recibida y recuperar, de un modo u otro, la categoría de individuo para los objetos cuánticos. Por ejemplo, Bas van Fraassen renuncia al principio de equiprobabilidad, usualmente aceptado en mecánica estadística clásica y cuántica. Recuérdese que, según este principio, se asigna igual probabilidad a cada una de las complejiones

que puede adquirir un sistema compuesto de partículas del mismo tipo: se asume que, de no mediar algún factor que rompa la equiprobabilidad, ninguna complejión es privilegiada frente al resto. Volviendo al modelo sencillo presentado en la sección anterior, van Fraassen propone que en el caso cuántico existen, del mismo modo que en el caso clásico, cuatro complejiones (1), (2), (3) y (4). Sin embargo, a diferencia del caso clásico donde sí rige la equiprobabilidad, en el caso cuántico se deben asignar diferentes probabilidades, a saber:

$$p(1) = p(4) = \frac{1}{3} \quad , \quad p(2) = p(3) = \frac{1}{6} .$$

Si se suman las probabilidades de (2) y (3), se obtiene lo siguiente:

$$p(2) + p(3) = \frac{1}{3} .$$

Este último es un resultado consistente con la estadística cuántica. Según esta propuesta, cada permutación da lugar a una nueva complejión, permitiendo que los objetos cuánticos puedan seguir siendo considerados individuos identificables. No obstante, en esta propuesta la ruptura de la equiprobabilidad aparece como un recurso *ad hoc* para proteger la tesis de la individualidad de los objetos cuánticos; se echa de menos un argumento que dé cuenta de esta excepcional ruptura de la equiprobabilidad en el ámbito cuántico.

Otra crítica contra la visión recibida proviene de Steven French (1989 443), quien intenta interpretar el postulado de simetrización (PS) sin afectar los compromisos metafísicos tradicionales. Para este autor, los estados de las partículas “indistinguibles” que no son simétricos o antisimétricos son físicamente inaccesibles, pero ontológicamente posibles. Esta propuesta devuelve una imagen de los objetos cuánticos como individuos que contingentemente se encuentran en estados en los cuales no se los puede distinguir. La indistinguibilidad es aquí una circunstancia física, no una condición ontológica de la cual se pueda inferir la no-individualidad. Sin embargo, al igual que en el caso anterior, esta propuesta se presenta como *ad hoc*, puesto que no parece tener otra justificación más que la de preservar la categoría ontológica de individuo para los objetos cuánticos.

Una propuesta alternativa a la visión recibida es la idea de *weak discernibility* (*discernibilidad débil*), presentada en este contexto por Simon Saunders y Fred Muller (*cf.* Saunders 293; Muller y Saunders 504) como una vía media entre la tesis de la individualidad y la de la no-individualidad de los objetos cuánticos. Los autores enfocan su

atención sobre una noción poco frecuente en ontología: un objeto es un *relacional* si puede ser discernido solamente por medio de relaciones. Por otra parte, consideran que un objeto es un individuo si puede ser discernido por medio de propiedades monádicas. Dentro del campo de los relacionales, existirían objetos que son *débilmente* discernidos, si ambos objetos están involucrados en relaciones recíprocas simétricas e irreflexivas (cf. Quine 129). Sobre esta base, se argumenta que, por ejemplo, entre dos fermiones en un estado singlete (estado máximamente entrelazado), la relación “tener la dirección opuesta de cada componente de espín respecto a” que cada fermión tiene respecto del otro es suficiente para permitir la distinción numérica entre los objetos, aunque sean indistinguibles respecto de sus propiedades monádicas y relacionales. Con ciertas salvedades, los autores construyen un argumento análogo para bosones (cf. Muller y Saunders 538). Aunque de un modo controversial, con sus argumentos los autores pretenden salvar una forma extremadamente débil del PII, garantizando así la diferencia solo número entre objetos cuánticos.

French y Décio Krause (cf. 154) han objetado que la estrategia de recurrir a la discernibilidad débil (*weak discernibility*) comporta una circularidad: para apelar a tales relaciones, se ha tenido que discriminar previamente entre los objetos relacionados; por lo tanto, la diversidad numérica de los objetos ha sido presupuesta por la relación. Los autores se defienden señalando que ellos presuponen la diversidad numérica de objetos formales, no de objetos físicos (del mismo modo que en la formulación de PII se distingue entre objetos formales que ingresan en una relación de identidad *syss* se cumplen las condiciones de identidad, *v. gr.*, la indiscernibilidad entre propiedades). Luego encuentran un tipo de relación física (las simétricas e irreflexivas mencionadas anteriormente) que habilita mantener por razones físicas la diversidad numérica presupuesta previamente solamente en términos formales (cf. Muller y Saunders 543).

Un intento diferente de dar cuenta de la indistinguibilidad cuántica es el propuesto por Paul Teller en términos de materia (*stuff*), categoría que ha sido empleada también en ontología de la química (cf. Lewowicz y Lombardi). Materia es una categoría ontológica alternativa a la de individuo para dar cuenta del referente de los llamados “términos de masa” (*mass terms*) o sustantivos no contables, tales como ‘agua’. Cuando múltiples individuos entran en un agregado, cada uno de ellos conserva su identidad numérica; por el contrario, cuando múltiples porciones de materia entran en un agregado, las porciones ya no pueden ser reidentificadas. Las condiciones de identidad de los objetos que caen en la categoría de materia son comparativamente más débiles que las de los individuos. Si los objetos cuánticos son materia, el PI pasa a tener un sentido ontológico

más claro ya que permutar dos porciones de una misma materia entre dos estados no daría lugar a una complexión diferente.

El terreno común de la controversia y su refocalización

Habiendo llegado a este punto, conviene hacer un rápido repaso de la evolución del espacio controversial desde sus orígenes. En el ámbito de la metafísica, el espacio controversial tiene su *foco* en el problema del *criterio de identidad numérica*. Al terreno común en este primer estadio pertenece el supuesto de que los objetos, cuyo criterio de identidad numérica se discute, son *individuos*. El debate queda confinado al ámbito de la metafísica analítica tradicional, con relativa independencia de los resultados de la física o, eventualmente, con tácitas referencias a objetos según los concibe la física clásica.

En un segundo momento, cuando el espacio controversial ingresa al ámbito de la mecánica cuántica, se presenta una dificultad técnica particular: existen objetos cuánticos numéricamente diferentes, pero indistinguibles respecto de sus propiedades. Los criterios de identidad considerados en el contexto de la metafísica pura resultan inadecuados frente a este resultado de la física. La introducción de este elemento crítico propio del ámbito de la cuántica condujo a una primera *refocalización* del espacio controversial: la cuestión de si los objetos cuánticos son o no *individuos*, que no se discutía en el momento puramente metafísico, pasa al foco del espacio. La mecánica cuántica estándar, en especial sus postulados de *indistinguibilidad* y *simetrización* (ψ_1 y ψ_2), pasó al nuevo terreno común en este segundo estadio. Mientras que la visión recibida prefiere concebir los objetos cuánticos como no-individuos, sus críticos intentan recuperar la noción de individuo a expensas del principio de equiprobabilidad (cf. van Fraassen), de la interpretación estándar del ψ (cf. French 2006), o apelando a alguna categoría ontológica que dé cuenta de la diferencia numérica entre objetos cuánticos (cf. Muller y Saunders; Teller).

No obstante, puede identificarse un estrato más profundo en el terreno común de este segundo estadio: un elemento no problematizado y que pasa inadvertido a lo largo de todo el desarrollo de la controversia en el ámbito de la cuántica. En efecto, la idea de que los sistemas cuánticos son *objetos* no es cuestionada. Se propusieron alternativas a la categoría de individuo, como las categorías de relacional débilmente discernible o la de materia. La visión recibida se limitó a postular una no-individualidad sin contenido propositivo. Pero no se descendió un nivel más hasta revisar la categoría misma de objeto. Tanto la noción de individuo, como la de relacional débilmente discernido, la de materia o un putativo no-individuo siguen siendo pensados siempre bajo la categoría ontológica más general de objeto. En este punto es donde

puede pensarse una *nueva refocalización* del espacio controversial: en lugar de continuar en la búsqueda de una noción de objeto no individual, puede ubicarse en el foco del espacio controversial la propia noción de objeto, para cuestionar si tal noción sigue siendo pertinente para lidiar con los sistemas cuánticos.

El análisis filosófico de la categoría de objeto es una cuestión profunda e intrincada; aquí solamente se presentará un breve panorama. La categoría ontológica de objeto se corresponde con la noción de *sujeto lógico* (el valor de una variable de individuo en lógica de primer orden), que a su vez tiene su correlato semántico en la noción de referencia singular (cf. Laycock). Por tanto, no parece posible desacoplar la noción de objeto de la noción de *sujeto de predicación*. De aquí que la categoría de objeto se complementa con la categoría ontológica de *propiedades*, que refiere precisamente a aquello que se predica de los objetos. Si un objeto es en el plano lógico un sujeto de predicación, es también en el plano ontológico un portador de propiedades que se instancian en él.² Además, un objeto debe poseer ciertas *condiciones de identidad* que hagan posible la predicación y la singularidad de la referencia, y que permitan que algún criterio de identidad sea aplicable satisfactoriamente. Generalmente se entiende que estas condiciones de identidad hacen de los objetos individuos; de aquí que con mucha frecuencia se hace uso indistinto de los términos ‘objeto’ e ‘individuo’. Sin embargo, es posible pensar objetos con condiciones de identidad más débiles que las de un individuo. Objetos como los relacionales anteriormente referidos no preservan su identidad ante un simple cambio en alguna de sus propiedades relacionales. Objetos como porciones de materia no preservan su identidad cuando entran en un agregado. Condiciones de identidad débiles deben satisfacer criterios de identidad comparativamente débiles (piénsese en las tres versiones de ΠII), lo que comporta involucrar una proporción mayor de propiedades.

Antes de la aparición en escena de la mecánica cuántica, era fácil suponer que los miembros de cualquier clase natural debían caer dentro de la categoría ontológica de objeto y que dicha categoría era completamente general. Más aún, antes de la cuántica no existían fuertes motivaciones para pensar en objetos con condiciones de identidad disminuidas respecto de las del individuo. Con la aparición de la mecánica cuántica, parece razonable abandonar la categoría de individuo, ya que exige condiciones de identidad demasiado fuertes para dar cuenta

-
- 2 El objeto, perteneciente al plano ontológico, que corresponde a un sujeto de predicación en el plano lógico no necesita ser siempre un objeto físico espacio-temporal. En este sentido general, son objetos también los números, las figuras geométricas, las clases, etc. También las propiedades, como la belleza, se sustancializan cuando se las nombra mediante términos que juegan el papel de sujetos de predicación.

de los sistemas cuánticos. Sin embargo, si se abandona la categoría de individuo preservando la categoría más fundamental de objeto, se debe proporcionar en su lugar un sustituto, con condiciones de identidad más débiles que las del individuo, pero que siga cumpliendo el papel de *sujeto de predicación*.

Si se acepta que un objeto es un sujeto de predicación con ciertas condiciones de identidad, al menos débiles, entonces es posible que la categoría ontológica de objeto no sea completamente general. En efecto, los sistemas cuánticos no están en general asociados a un sujeto de predicación ni a condiciones de identidad estables. El formalismo de la cuántica permite proponer descripciones alternativas de los sistemas de manera que los sujetos de predicación no se conserven. Sin ahondar en detalles aquí, la idea se puede comprender en términos del modelo simplificado presentado en la cuarta sección: además de ser concebido como compuesto por dos subsistemas determinados, el sistema puede ser particionado de múltiples formas, todas igualmente legítimas desde un punto de vista físico (*cf.* Pasqualini y Fortin). Otra característica cuántica por tener en cuenta es que, en virtud de la contextualidad, los sistemas cuánticos violan incluso el tradicional principio de determinación omnimoda, según el cual toda propiedad determinable está determinada. Se puede argumentar, entonces, que las condiciones de identidad de los sistemas cuánticos son aún más débiles que las presupuestas en los enfoques de la discernibilidad débil y de la materia (*stuff*). Aunque no se ha incluido en el espacio controversial delimitado en este trabajo, también debe recordarse el fenómeno cuántico del entrelazamiento (*entanglement*), sobre la base del cual se ha cuestionado incluso la *localidad* de los sistemas cuánticos, que es otra nota usualmente empleada para caracterizar a la categoría de objeto. Frente a estos múltiples desafíos ontológicos, todo parece indicar que persistir en la búsqueda de condiciones de identidad tan débiles para dar cuenta de todas estas peculiaridades cuánticas y preservar la categoría ontológica de objeto puede conducir a una situación de bloqueo conceptual.

Precisamente estas dificultades son las que condujeron a algunos autores a proponer una ontología de propiedades sin objetos para la mecánica cuántica. Sin objetos no hay exigencia de fijar en términos ontológicos alguna forma de sujeto de predicación con sus condiciones de identidad correspondientes. Desde esta perspectiva, las mínimas condiciones de identidad que los sistemas cuánticos puedan poseer dependen del modo en que se los definen y delimitan en términos físicos: las condiciones de identidad de los sistemas cuánticos ya no están ontológicamente aseguradas; no hay en cuántica sujetos de predicación ontológicamente constituidos.

Una ontología de propiedades sin objetos

En el contexto de las interpretaciones modales de la mecánica cuántica, se han propuesto ontologías de propiedades sin individuos (*cf.* da Costa, Lombardi y Lastiri; da Costa y Lombardi; Lombardi y Dieks). Aquí se renueva la propuesta, adoptando el compromiso adicional de ofrecer una ontología de propiedades que prescinde incluso de la categoría de objeto. Si bien la discusión del presente trabajo se ha centrado en el tema de la indistinguibilidad cuántica, el propósito que inspira a la ontología de propiedades sin objetos estriba en dar respuesta integral a los múltiples desafíos ontológicos que presenta la mecánica cuántica (indistinguibilidad, contextualidad y no-localidad).

Las presentaciones usuales de la mecánica cuántica emplean el formalismo de espacios de Hilbert para representar los sistemas cuánticos. El espacio de Hilbert está matemáticamente construido a partir de un conjunto de vectores que representan los posibles estados de un sistema cuántico. Los observables del sistema se representan mediante operadores que actúan sobre los vectores de estado previamente definidos. La prioridad lógica de los estados sobre los observables en el formalismo de espacios de Hilbert favorece una ontología de objetos y propiedades. En esta imagen ontológica, los sistemas son objetos con condiciones de identidad provistas por su espacio de estados y los observables, representados por operadores, corresponden a las propiedades que se predicán de ellos.

Si bien el formalismo de espacios de Hilbert es el más difundido, la teoría también puede formularse mediante el formalismo algebraico. Aunque matemáticamente equivalente al anterior, el formalismo algebraico permite ganar generalidad para dar cuenta de una gama más amplia de estados cuánticos. En él, los observables se representan mediante un álgebra de operadores, mientras que los estados son funcionales que actúan sobre el álgebra de operadores previamente definida. La prioridad lógica de los observables sobre los estados, característica de este formalismo, favorece, a diferencia de los espacios de Hilbert, una ontología de propiedades sin objetos. Los sistemas cuánticos quedan ahora definidos por su álgebra de observables, lo que se encuentra en resonancia con una imagen del sistema como un haz de propiedades.

Es posible establecer una serie de correspondencias semánticas que definen formalmente la ontología de propiedades sin objetos (*cf.* Pasqualini y Fortin 9):

El álgebra de *operadores autoadjuntos* representa al conjunto de los *observables físicos* que definen a un sistema cuántico, que a su vez se corresponde con el conjunto de *instancias de propiedades-tipo universales posibles* en el dominio ontológico.

Los *autovalores* de los operadores autoadjuntos representan *posibles valores físicos*, que a su vez se corresponden con el conjunto de *propiedades-caso posibles* pertenecientes a cada propiedad-tipo.

Las *funciones de probabilidad* representan *distribuciones de probabilidad* para cada observable físico, que a su vez se corresponden con las *propensiones ontológicas* de actualización de cada posible propiedad-caso.

Los *funcionales* sobre el álgebra de observables representan *estados físicos*. Son simples dispositivos que asignan una distribución de probabilidad a cada observable y, por tanto, desde el punto de vista ontológico codifican las propensiones ontológicas para todas las posibles propiedades-caso del sistema.

Destacamos que se hace referencia a propiedades-caso *posibles* ya que la ontología de propiedades fue originalmente desarrollada en el contexto de las interpretaciones *modales* (cf. Lombardi y Dieks), que –contra el actualismo dominante– otorgan contenido ontológico a la categoría de posibilidad. Las propiedades-caso posibles son propiedades categóricas que actualizan indeterminísticamente sin condiciones de estímulo, de acuerdo con las leyes de la cuántica estándar y con el contexto preferido establecido por la interpretación. Las interpretaciones modales proponen ciertas reglas de actualización que definen el contexto privilegiado, pero otras interpretaciones prevén otros mecanismos de actualización. De todos modos, una ontología de propiedades sin objetos puede adaptarse tanto a las interpretaciones modales, como a la interpretación ortodoxa u otras.

Si se adopta esta estructura ontológica, la tradicional imagen de los sistemas físicos como partículas pierde su validez general. La ontología de propiedades ofrece una imagen de los sistemas cuánticos en la que estos son solamente haces de propiedades-caso posibles, sin condiciones de identidad ontológicamente constituidas. Los haces pueden agruparse para formar nuevos haces en los que los anteriores pierden su singularidad. A su vez, un haz puede descomponerse en otros de múltiples maneras, todas igualmente legítimas. Se desvanece entonces una imagen atomista en la que toda la realidad se construye de abajo hacia arriba (*bottom-up*), a partir de sistemas elementales; esta imagen ontológica favorece una visión holista (*top-down*).

Es importante resaltar que una ontología de propiedades posibles sin objetos constituye una evolución del enfoque de la individualidad de haz. Como en la teoría del haz tradicional, en la ontología de propiedades sin objetos las propiedades no se instancian en un sustrato, sino que se instancian en virtud de su agrupación en un haz de propiedades: universales coinstanciados delimitan un haz. No obstante, conviene formular algunas precisiones. La teoría del haz tradicional pretendía asegurar condiciones de identidad para el objeto individual

(por medio del PII) sin apelar a un sustrato independiente de las propiedades; su referencia inmediata eran los sistemas de la física clásica. Sin embargo, en cuántica los haces están desprovistos de condiciones de identidad. Estos *cúmulos* de propiedades-caso, a diferencia de los haces tradicionales, no sufren restricciones adicionales con el fin de preservar identidad: no son individuos y ni siquiera objetos, porque no hay sujeto de predicación ontológicamente constituido en correspondencia con ellos (adoptamos la expresión *cúmulo* para evitar la confusión con el haz tradicional). Como bien señala French (*cf.* 2020), esta concepción de una ontología de haces que no son objetos se encuentra en natural resonancia con el realismo estructural óptico, motivado principalmente por los desafíos de la mecánica cuántica (*cf.* Ladyman).

Los cúmulos cuánticos, correlatos ontológicos de los sistemas cuánticos físicos, son simples colecciones de propiedades-caso coinstanciadas, sin sustrato ni sujeto de predicación que preserve individualidad u objetualidad alguna. Es cierto que en la práctica física se dan circunstancias en que los sistemas cuánticos parecen preservar su identidad. Sin embargo, desde esta perspectiva, tal hecho no depende de la ontología, sino del modo peculiar en que el físico delimita y define los sistemas bajo estudio. Con esta concepción, en la que no hay lugar alguno para un sujeto de predicación ontológicamente fundado, se abandona por completo el foco de la controversia tal como se presenta en la metafísica tradicional. En efecto, la existencia de cúmulos cuánticos no hace siquiera falso al PII: el PII sencillamente no se aplica a ellos. Los cúmulos carecen por definición de condiciones de identidad que permitan la aplicación de criterio de identidad alguno.

Esta ontología “liviana” presenta claras ventajas para dar cuenta del mundo cuántico. Precisamente, porque no brinda fundamento a sujeto de predicación alguno, disuelve todos los problemas relacionados con los criterios de identidad de objetos. No obstante, esta ontología de propiedades posibles se puede armonizar con una clasificación de los sistemas cuánticos en clases naturales sobre la base de sus propiedades. Por medio de la introducción de postulados interpretativos (por ejemplo, los de la interpretación modal-Hamiltoniana, *cf.* Lombardi y Castagnino), es posible dar valor definido a ciertas propiedades de ciertos sistemas mereológicamente elementales, con independencia de la evolución del estado dinámico; y sobre la base de tales propiedades se pueden definir sistemas “atómicos” para proceder a su clasificación, aunque no se los pueda categorizar ontológicamente como objetos. Por otra parte, esta ontología sin objetos no solo brinda una respuesta filosóficamente adecuada al problema de la indistinguibilidad, sino también a los problemas de la contextualidad y la no-separabilidad

cuánticas, tradicionales desafíos ontológicos presentados por la teoría (cf. da Costa et al.).

Por último, resulta *interesante* precisar la manera en que esta ontología acomete la cuestión de la indistinguibilidad cuántica. Desde la perspectiva de una ontología de propiedades sin objetos, es posible una reformulación del postulado de indistinguibilidad (PI) que hace que la introducción del postulado de simetrización (PS) resulte superflua. En una ontología donde las propiedades tienen prioridad sobre los estados, es natural pensar que la restricción que anteriormente actuaba sobre los estados (PS) ahora deba actuar directamente sobre los observables. Recordemos que, desde la perspectiva tradicional, el PS exige que los estados cuánticos de sistemas indistinguibles sean simetrizados o antisimetrizados; este mecanismo asegura consistencia con la estadística cuántica. En la ontología de propiedades son directamente los observables los que deben ser simétricos; por lo tanto, la versión del postulado de indistinguibilidad PI_{obs} resulta así (Fortin y Lombardi 10):

$$\langle \psi | O' | \psi \rangle = \langle \psi | O | \psi \rangle \quad \text{siendo } O' = P^\dagger O P$$

De este modo, los observables simétricos $O = O'$ satisfacen directamente la exigencia respecto al cómputo de valores medios, que en la formulación tradicional cumplen los estados simetrizados o antisimetrizados por medio de la introducción adicional del PS. A diferencia del PS estándar, aquí el requerimiento de simetría para los observables no se introduce simplemente *ad hoc* para salvar la estadística cuántica, sino que tiene una clara motivación ontológica: un cúmulo es simétrico (sus observables son simétricos) si sus cúmulos constituyentes son indistinguibles. Esta afirmación puede formularse rigurosamente de un modo formal.³

Sean dos cúmulos h^1 y h^2 definidos por diferentes instancias de una misma álgebra de observables $O_1 = O_2$, de modo que $h^1 \triangleq h^2$, donde el símbolo \triangleq denota la relación de indistinguibilidad. Por supuesto, los diferentes índices no comportan aquí individualidad, sino diferencia solo número, y podrían ser arbitrariamente intercambiados. Estos cúmulos se agregan en el cúmulo compuesto h^u , de modo que $h^u = h^1 * h^2$, donde $*$ denota la operación de agregación.

Consecuentemente, el álgebra $O_U = O_1 \vee O_2$ define el cúmulo h^u . A continuación, se debe efectuar la restricción sobre los observables $O_U \in O_U$ para satisfacer el PI_{obs} . Esto requiere que los observables

3 Quien no tenga interés en cuestiones formales, puede pasar por alto la presentación del resto de la sección sin desmedro de la argumentación general.

$O_U = \sum_{ij} k_{ij} (O_{1i} \otimes O_{2j})$ sean tales que $O_{1i} \otimes O_{2j} = O_{2i} \otimes O_{1j}$. Esto significa que los observables O_u pertenecientes al cúmulo h^u son simétricos respecto a la permutación de los cúmulos h^1 y h^2 (cf. da Costa et al. 3686; Fortin y Lombardi 16). Esa es la única condición impuesta por la ontología de propiedades sobre agregados de cúmulos indistinguibles. No es necesario simetrizar o antisimetrizar el estado, ya que solo el componente simétrico (o antisimétrico) del estado interviene en el cómputo de los valores medios. El componente no simétrico del estado es ignorado por observables simétricos.

$$\begin{aligned} \langle \psi | O_U | \psi \rangle &= \langle \psi_S | O_U | \psi_S \rangle \quad \text{con } |\psi_S\rangle = S|\psi\rangle \\ \langle \psi | O_U | \psi \rangle &= \langle \psi_A | O_U | \psi_A \rangle \quad \text{con } |\psi_A\rangle = A|\psi\rangle, \end{aligned}$$

donde $|\psi\rangle$ es un estado genérico y S y A son operadores de simetrización y antisimetrización.

Conclusiones

La noción de refocalización del modelo de espacios controversiales de Nudler arrojó luz sobre el proceso de revisión de la noción de individuo en su aplicación a los sistemas cuánticos. A diferencia de los modelos rupturistas, este modelo nos permitió apreciar que este cambio conceptual no solo involucra elementos de innovación, sino que también responde a parámetros de control racional. El modelo también nos permitió conjeturar que, en las discusiones acerca de la indistinguibilidad cuántica, la evolución progresiva iniciada a partir de la puesta en cuestión de la noción de individualidad amenaza agotarse y aproximarse a una situación de bloqueo conceptual si no se consideran nuevas alternativas. Estos elementos hacen probable que la evolución futura de la controversia comporte una nueva revisión del terreno común.

En ese punto es que se ha sugerido que una estrategia fructífera para el desbloqueo del debate consiste en atacar un elemento que todavía permanece oculto en el terreno común para la mayoría de los actores que participan de este espacio controversial: el supuesto de que los sistemas cuánticos pertenecen a la categoría ontológica de objeto. La categoría de objeto, en sí misma, involucra una dificultad que obstaculiza la continuidad de una evolución progresiva de la controversia: si no se prescinde de tal categoría, aunque se prescinda de la de individuo, sigue presente la idea de sujeto de predicación y de referencias más o menos singularizadas, que difícilmente pueden compatibilizarse con el

comportamiento estadístico de los sistemas cuánticos. Por otra parte, en una ontología carente de la categoría de objeto, también otros problemas ontológicos de la mecánica cuántica, como la contextualidad y la no localidad, acaban por disolverse.

En este contexto, en el presente trabajo se ha renovado la propuesta de una ontología de propiedades sin objetos para la mecánica cuántica. En ella, los sistemas cuánticos se corresponden ontológicamente con cúmulos de propiedades-caso posibles. Por lo tanto, las mínimas condiciones de identidad que pueden adquirir los sistemas cuánticos dependen exclusivamente del modo particular en que la práctica física opte por delimitar y definir los sistemas bajo estudio. Dichas condiciones de identidad no se fundan en una supuesta individualidad de los sistemas cuánticos ni en ningún otro correlato ontológico que provea condiciones de identidad sensiblemente disminuidas respecto de las que ofrece la noción de individuo. De este modo, es posible dispensar a la ontología cuántica de la ardua tarea de dar cuenta de un sujeto de predicación de comportamiento bizarro y metafísicamente incomprensible.

Bibliografía

- Armstrong, David Malet. *Universals: An Opinionated Introduction*. Westview, 1989.
- Ballentine, Leslie. *Quantum Mechanics: A Modern Development*. World Scientific, 1998.
- Black, Max. "The Identity of Indiscernibles." *Mind* LXI.242 (1952): 153-64.
- Butterfield, Jeremy. "Interpretation and Identity in Quantum Theory." *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 24.3 (1993): 443-76.
- Da Costa, Newton; Lombardi, Olimpia and Lastiri, Mariano. "A Modal Ontology of Properties for Quantum Mechanics." *Synthese* 190.17 (2012): 3671-3693.
- Da Costa, Newton and Olimpia Lombardi. "Quantum Mechanics: Ontology without Individuals." *Foundations of Physics* 44.12 (2014): 1246-1257.
- Fortin, Sebastián and López, Cristian. "Problemas Ontológicos de la Mecánica Cuántica.", *Diccionario Interdisciplinar Austral*. Editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. Universidad Austral, 2016. Web junio 2021 http://dia.austral.edu.ar/Problemas_ontologicos_de_la_mecanica_cuantica
- Fortin, Sebastián and Lombardi, Olimpia. "Entanglement and Indistinguishability in a Quantum Ontology of Properties." *Studies in History and Philosophy of Science*, 2021 (en prensa).
- French, Steven. "Identity and Individuality in Classical and Quantum Physics." *Australasian Journal of Philosophy* 67.4 (1989): 432-446.
- French, Steven. "What is this Thing Called Structure? (Rummaging in the Toolbox of Metaphysics for an Answer)." *PhilSci Archive*, 2020.

- French, Steven and Krause, Décio. *Identity in Physics a Historical, Philosophical, and Formal Analysis*. Clarendon Press, 2006.
- Kaplan, David. "How to Russell a Frege-Church." *The Journal of Philosophy* 72.19 (1975): 716-29.
- Krause, David. "On a Quasi-Set Theory." *Notre Dame Journal of Formal Logic* 33.3 (1992): 402-411.
- Kuhn, Thomas, S. *The Structure of Scientific Revolutions*. The University of Chicago Press, 1996.
- Ladyman, James. "What is Structural Realism?" *Studies in History and Philosophy of Science* 29.3 (1998): 409-424.
- Laycock, Henry. "Object." *Stanford Encyclopedia of Philosophy*. Edited by Edward N. Zalta. Stanford University, 2017. Web: June 2021. [plato.stanford.edu/archives/fall2017/entries/object/]
- Lewis, David. *On the Plurality of Worlds*. Blackwell Publishers, 1986.
- Lewowicz, Lucía and Lombardi, Olimpia. "Stuff versus Individuals." *Foundations of Chemistry*, 15.1 (2013): 65-77.
- Lombardi, Olimpia. "The Problem of Irreversibility, from Fourier to Chaos Theory: The Trajectory of a Controversy Space." *Controversy Spaces. A model of scientific and philosophical change*. Edited by Oscar Nudler. John Benjamins, 2011. 77-102.
- Lombardi, Olimpia and Dennis Dieks. "Particles in a Quantum Ontology of Properties." *Metaphysics in Contemporary Physics*. Edited by Tomasz Bigaj and Christian Wüthrich. Brill-Rodopi, 2016. 123-144.
- Lombardi, Olimpia and Dieks, Dennis. "Modal Interpretations of Quantum Mechanics." *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Spring 2017 Edition). Edited by Edward N. Zalta. Stanford University, 2017. Web: June 2021. [plato.stanford.edu/entries/qm-modal/]
- Lombardi, Olimpia and Castagnino, Mario. "A Modal-Hamiltonian Interpretation of Quantum Mechanics." *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39.2 (2008): 380-443.
- Muller, F.A. and Saunders, Simon. "Discerning Fermions." *The British Journal for the Philosophy of Science* 59.3 (2008): 499-548.
- Noonan, Harold and Been Curtis. "Identity." *Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2018 Edition). Edited by Edward N. Zalta. Stanford University, 2018. Web: June 2021. [plato.stanford.edu/entries/identity/]
- Nudler, Oscar. "Is There Progress in Philosophy? A Russellian View." *Principia* 5.1/2 (2001): 241-252.
- Nudler, Oscar. "¿Progreso en Filosofía?" *Filosofía Natural y Filosofía Moral en la Modernidad*. Editado por Laura Benítez, Zuraya Monroy y José Antonio Robles. Universidad Autónoma de México 2003a. 15-23.
- Nudler, Oscar. "Campos Controversiales: Hacia un Modelo de su Estructura y Dinámica." *Revista Patagónica de Filosofía* 3.1 (2003b): 9-22.

- Nudler, Oscar. "Hacia un Modelo Alternativo de Cambio Conceptual: Espacios Controversiales y Refocalización." *Revista de Filosofía* 29.2 (2004): 7-19.
- Nudler, Oscar. *Espacios Controversiales. Hacia un Modelo de Cambio Filosófico y Científico*. Miño y Dávila, 2009.
- Pasqualini, Matias and Fortin, Sebastian. "Trans-statistical Behavior of a Multiparticle System in an Ontology of Properties." *PhilSci Archive*, 2021. Web: June 2021. [philsci-archive.pitt.edu/19471]
- Post, Heinz. "Individuality and Physics." *The Listener* 70 (1963): 534-537.
- Quine, Willard Van Orman. *Theories and Things*. Harvard, Belknap, 1981.
- Saunders, Simon. "Physics and Leibniz's Principles." *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*. Edited by Katherine Brading and Elena Castellani. Cambridge University Press, 2003. 289-307.
- Teller, Paul. "Quantum Mechanics and Haecceities." *Interpreting Bodies*. Edited by Elena Castellani. Princeton University Press, 1998. 114-141.
- Van Fraassen, Bas. "Statistical Behaviour of Indistinguishable Particles: Problems of Interpretation." *Recent Developments in Quantum Logic*. Edited by Peter Mittelstaedt and Ernst-Walther Stachow. Mannheim, 1985. 161-187.
- Varela Machado, Olga. "Desbloqueo Conceptual de la Controversia sobre el Determinismo durante la Segunda Mitad del Siglo XIX." *Crítica. Revista Hispanoamericana de Filosofía* 52.156 (2020): 87-114.
- Weyl, Hermann. *The Theory of Groups and Quantum Mechanics*. Dover Publications, 1931.