

MÁS ALLÁ DE LOS OBJETOS: EL REALISMO ESTRUCTURAL ÓNTICO Y LA INTERPRETACIÓN MODAL HAMILTONIANA ANTE EL PROBLEMA DE LA INDISTINGUIBILIDAD CUÁNTICA

BEYOND OBJECTS: ONTIC STRUCTURAL REALISM AND MODAL-HAMILTONIAN INTERPRETATION FACING THE PROBLEM OF QUANTUM INDISTINGUISHABILITY

Bruno Borge* y Olimpia Lombardi**

Resumen

Uno de los mayores atractivos del Realismo Estructural Óntico (REO) es el brindar una propuesta metafísica capaz de lidiar con el problema ontológico de la indistinguibilidad cuántica. Por otra parte, la Interpretación Modal-Hamiltoniana de la mecánica cuántica (MHI), aspira a formular una solución “global”, en la que todos los problemas ontológicos de la teoría puedan abordarse adecuadamente en términos de una única ontología. En ambas propuestas, la categoría ontológica de objeto está ausente. El propósito del presente artículo es analizar esta propuesta sugiriendo que satisface las motivaciones centrales que condujeron a la formulación del REO, pero además supera los problemas conceptuales que el REO ha enfrentado desde su formulación.

Palabras clave: Realismo estructural óntico, Interpretación modal-hamiltoniana, Indistinguibilidad cuántica.

Abstract

One of the major appeals of Ontic Structural Realism (OSR) is to provide a metaphysical proposal capable of dealing with the ontological problem of quantum indistinguishability. The Modal-Hamiltonian Interpretation of quantum

* Universidad de Buenos Aires, CONICET. E-Mail: brunojborge@gmail.com / <https://orcid.org/0000-0002-1755-9690>

** Universidad de Buenos Aires, CONICET. E-Mail: olimpiafil@ gmail.com / <https://orcid.org/0000-0003-2204-7902>

mechanics (MHI), on the other hand, aspires to formulate a “global” solution, in which all the ontological problems of the theory can be adequately addressed in terms of a single ontology. In both proposals, the ontological category of object is absent. The purpose of the present article is to analyze the MHI ontology by suggesting that it satisfies the central motivations that led to the formulation of OSR but also overcomes the conceptual problems that OSR has faced since its formulation.

Keywords: Ontic structural realism, Modal-Hamiltonian interpretation, quantum indistinguishability.

1. Introducción

El Realismo Estructural Óntico (REO) está motivado por argumentos que provienen de dos frentes principales: las discusiones filosóficas acerca del realismo científico, que derivaron en la formulación de la versión epistémica del realismo estructural, y los intentos de solucionar en clave estructuralista el problema de la indistinguibilidad en mecánica cuántica. Ambas motivaciones condujeron a la postulación de las estructuras como ontológicamente prioritarias respecto de los objetos o individuos. Sobre la adopción de este compromiso metafísico básico se desplegaron dos articulaciones del REO. Las variantes no-eliminativistas (*e.g.* Esfeld 2009) sostienen la prioridad ontológica de las estructuras pero incluyen otras categorías en la ontología, como la de propiedad o de objeto. Para el eliminativismo, en cambio, el REO debe ser formulado como una ontología de una única categoría, la de estructura. El atractivo filosófico de esta posición se vincula directamente con las motivaciones recién mencionadas: el REO se presenta como una metafísica estructuralista para la ciencia capaz de dar cuenta del problema de la indistinguibilidad cuántica, eliminando la categoría de objeto de la ontología fundamental y enfatizando los aspectos estructurales en la metafísica realista.

Ambas variantes del REO encuentran un desafío al intentar caracterizar la noción de estructura. Pero los eliminativistas tienen una tarea más difícil a la hora de dar cuenta de en qué consiste esa categoría ontológica de estructura a la que se reduce sin pérdida todo lo que hay. En el presente trabajo nos concentramos, de aquí en más, en las versiones eliminativistas del REO. En este contexto, la estructura se identificó sin más con las leyes y simetrías de la física contemporánea. Esta identifi-

cación derivó en una variedad de objeciones que cuestionaron desde la conveniencia metodológica del cambio de ontología, hasta la viabilidad conceptual de la posición. A pesar de diversos intentos en ya casi tres décadas desde su formulación, el REO parece tener como cuenta pendiente brindar una noción aceptable de estructura física. En un trabajo reciente, French (2021) apela a dos herramientas metafísicas para esclarecer dicha noción: la determinabilidad y la posibilidad.

Más allá del éxito de estos intentos, como fue señalado, el principal atractivo del REO es el brindar una propuesta metafísica capaz de lidiar de modo satisfactorio con el problema ontológico de la indistinguibilidad. Eso es más relevante si se considera que la mayoría de las interpretaciones de la mecánica cuántica son concebidas para hacer frente al problema de la medición: los problemas ontológicos no reciben la misma atención en las discusiones acerca de la interpretación de la mecánica cuántica. Pero cuando se analizan estos problemas, la estrategia habitual es centrarse en uno solo de ellos y adaptar una visión interpretativa para resolverlo, dejando de lado las dificultades restantes. La Interpretación Modal-Hamiltoniana de la mecánica cuántica (MHI), por el contrario, es una interpretación que aspira a formular una solución “global”, en la que todos los problemas ontológicos puedan abordarse adecuadamente en términos de una única ontología. Esto lo hace adoptando una ontología de propiedades, en la cual, al igual que en el REO, la categoría ontológica de objeto está ausente.

El propósito del presente artículo es analizar esta propuesta sugiriendo que satisface las motivaciones centrales para la formulación del REO. Además, sostendremos que, a pesar de ser una ontología de propiedades, en un sentido suficientemente relevante la MHI brinda una imagen ontológica en la que la estructura del mundo juega un papel ontológicamente central, pero que supera los problemas conceptuales que el REO ha enfrentado desde su formulación.

Para llevar a cabo este análisis, el trabajo se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2, examinaremos brevemente las bases del REO y sus intentos de esclarecer la noción de estructura física. En la Sección 3, presentaremos los principales desafíos ontológicos que plantea la mecánica cuántica a la metafísica tradicional, centrándonos en el problema de la indistinguibilidad. En la Sección 4, expondremos la ontología de propiedades para la mecánica cuántica propuesta por la MHI. Finalmente, en la Sección 5, mostraremos cómo la MHI responde a los desafíos ontológicos de la mecánica cuántica, y argumentaremos que, a pesar de ser una ontología de propiedades, la MHI satisface los *desidera-*

ta del REO y ofrece una imagen en la que la estructura del mundo juega un papel ontológicamente central.

2. Realismo Estructural Óntico y estructuras físicas

2.1. Las motivaciones del Realismo Estructural Óntico

El REO está motivado por una serie de argumentos que provienen de dos frentes diferentes. Por una parte, sus defensores afirman que el REO resuelve una serie de problemas conceptuales de la tradición filosófica en la que se inscribe: mientras que el realismo científico tradicional no ha logrado dar con una salida convincente al problema del cambio teórico, el realismo estructural epistémico formulado por Worrall (1989) no ha podido responder satisfactoriamente a la denominada objeción de Newman (1928). Pero la principal motivación para el REO surge desde un frente muy diferente, el de la ciencia moderna: los resultados alcanzados en algunos campos de la física no pueden ser adecuadamente recogidos desde la metafísica tradicional orientada hacia objetos. La nueva propuesta soluciona nuevos y viejos problemas (Ladyman 1998, French 2006).

Comencemos por la filosofía. El realismo estructural epistémico se formula para dar cuenta de la continuidad del conocimiento científico a lo largo del cambio teórico, y así hacer al realismo inmune a la inducción pesimista. Esta posición, sin embargo, se sostiene sobre la idea de que existe una restricción en nuestro acceso epistémico al mundo inobservable: conocemos su estructura y desconocemos por completo su naturaleza. Existe un amplio consenso respecto a que esa tesis no puede salvarse del desafío de Newman, según el cual la máxima de que conocemos solo el sistema de relaciones que instancia el mundo inobservable es o bien trivial o bien falsa. Dada solamente una restricción de cardinalidad, el mundo inobservable instancia infinitas estructuras consistentes con dicha cardinalidad. Eso hace que la máxima sea trivial, a menos que se especifique la naturaleza de las relaciones que lo constituyen, en cuyo caso se hace falsa. El REO, en cambio, resulta inmune a este problema, en tanto su concepción de las relaciones no es meramente extensional, sino sustantiva: es precisamente la naturaleza de esas relaciones lo que las teorías capturan. Ese rasgo epistémico es consecuencia de su apuesta metafísica, dado que el hecho de sostener la prioridad ontológica de las relaciones sobre los relata (más allá del estatus que ulteriormente se le asigne) implica que un conocimiento de las primeras no puede reducirse

a consideraciones *a priori* sobre la cardinalidad de un conjunto. Tanto consideraciones semántico-formales como conceptuales muestran que la objeción de Newman es inaplicable al realismo estructural óntico.

Pero la principal motivación para la formulación del REO radica en su respuesta al desafío que plantea a la categoría ontológica de objeto la indistinguibilidad de las llamadas “partículas idénticas” en mecánica cuántica. La historia habitual comienza contando cuántas distribuciones de dos partículas en dos estados son posibles. La respuesta clásica es la que brinda la estadística de Maxwell-Boltzmann, según la cual existen cuatro distribuciones posibles de dos objetos en dos estados. Por el contrario, en las estadísticas cuánticas (Bose-Einstein y Fermi-Dirac), una permutación de las partículas no conduce a una distribución diferente, ya que las partículas son “indistinguibles”. Aunque la teoría tiene recursos formales para abordar la estadística cuántica, desde un punto de vista conceptual el problema es explicar por qué una permutación de partículas individuales no conduce a una distribución diferente en el caso cuántico.

Según la “Concepción Heredada” sobre la indistinguibilidad cuántica, las partículas fundamentales no pueden considerarse individuos (ver French y Bigaj 2024). Desde esta perspectiva, la indistinguibilidad se considera una característica que conduce a la violación del *principio de identidad de indiscernibles*. Varias perspectivas confrontan la concepción heredada para restaurar la categoría de individuo. Por ejemplo, van Fraassen (1985) recupera la estadística cuántica renunciando a la equiprobabilidad de las diferentes distribuciones de partículas cuánticas en estados cuánticos. Otra posición contraria a la concepción heredada procede de French (1989), quien afirma que los estados de partículas indistinguibles que no son simétricos ni antisimétricos son ontológicamente posibles y solo físicamente inaccesibles: la indistinguibilidad es una situación física, no una condición ontológica de la que pueda inferirse la no-individualidad. Otra propuesta alternativa a la concepción heredada se basa en la idea de “discernibilidad débil” (Saunders 2003; Muller y Saunders 2008): en el caso de dos fermiones en estado singlete, la relación “tener la dirección opuesta de cada componente de espín con respecto a...” que cada fermión tiene con respecto al otro es suficiente para establecer la distinción numérica entre los individuos, aunque sean indistinguibles respecto de sus propiedades monádicas y relacionales (para un argumento análogo para bosones, cf. Muller y Seevinck 2009). French y Krause (2006) han rechazado esta estrategia alegando que conlleva circularidad: para apelar a tales relaciones, se ha tenido

que discriminar de antemano entre los individuos relacionados; por tanto, la diferencia numérica entre los individuos ha sido presupuesta por la propia relación.

Aunque el problema de la indistinguibilidad en mecánica cuántica ha generado amplios debates, en todos ellos subyace una base común. De hecho, a pesar de que la concepción heredada y sus críticos difieren respecto a concebir los sistemas cuánticos como individuos, sin embargo, coinciden en cuanto a subsumirlos bajo la categoría de objeto. Sin embargo, al prescindir de la categoría de objeto, el problema adquiere una formulación completamente distinta. En esta situación, French (1989; 1998) sostiene que la mecánica cuántica da lugar a una subdeterminación metafísica que permite considerar las partículas como individuos o como no-individuos. Ladyman (1998) sugiere que la raíz de esta subdeterminación metafísica se encuentra en la metafísica tradicional que tiene como ontológicamente prioritarios los objetos respecto de las relaciones. Reemplazada la imagen metafísica tradicional por una ontología de estructuras, la mencionada subdeterminación metafísica simplemente no tiene lugar.

2.2. La naturaleza de la estructura fundamental

Elevar la noción de estructura a categoría fundamental de la ontología eliminativista requiere formular un relato completo acerca de la naturaleza de dicha estructura. Los intentos iniciales señalaron simplemente la necesidad de subvertir la relación de prioridad ontológica entre relaciones y relata (Ladyman 1998), o identificaron la estructura del mundo con la restricción impuesta por la invariancia bajo permutaciones, representada por el requisito de que el Hamiltoniano debe conmutar con el operador de permutación (French 2020a: 4). Esas caracterizaciones le valieron al REO una variedad de objeciones. Algunos cuestionaron su viabilidad conceptual (Psillos 2001, Morganti 2004) y la aceptabilidad metodológica del cambio de ontología que propone (Chakravartty 2003). Otros afirmaron que la posición tiene serias dificultades para dar cuenta del cambio en el mundo (Busch 2003, Psillos 2006), o bien que su compromiso con estructuras fundamentales colapsa en una forma de platonismo matemático (Cao 2003).

En parte como respuesta a estas objeciones, French (2014) identificó las estructuras con las leyes y simetrías descriptas por la física. En pocas palabras, la empresa implica invertir el mapa ontológico del disposicionalismo:

“Mi propio enfoque opera un mecanismo de «ingeniería inversa» del relato disposicionalista acerca de las leyes y propiedades: en lugar de comenzar con estas últimas, concebidas como conjuntos de disposiciones modalmente informadas para relaciones específicas y que, por tanto, codifican las leyes relevantes, comenzamos con las leyes y simetrías, concebidas como aspectos de la estructura del mundo a partir de los cuales obtenemos lo que llamamos relaciones, y de ahí, las propiedades.” (French 2021, p. 27).

Este relato, no obstante, es vacío si no se provee una explicación puramente estructural de la naturaleza de las leyes y simetrías relevantes en el que quede de manifiesto su carácter físico. La estrategia de French hace uso de la distinción entre la *representación* de la estructura y la *presentación* de los objetos que aparecen en ella por medio de sus estructuras compartidas. Si bien la *representación* hace uso de conceptos abstractos, eso no significa que la estructura compartida por los objetos postulados por la teoría no pueda ser *presentada* como ontológicamente primaria.

El relato se organiza del siguiente modo: la ciencia se ocupa de describir fenómenos; la física cuántica, concretamente, se interesa por cierto tipo de fenómenos físicos y los describe como estructuras en el marco de la teoría de grupos. Por su parte, la filosofía de la ciencia se ocupa de describir teorías y (si al menos cierta dosis de realismo es admitida en su ejercicio) la relación que esas teorías guardan con el mundo. En el marco de la concepción semántica abrazada por French, la herramienta para efectuar esa descripción son las estructuras parciales expresadas en el lenguaje de la teoría de conjuntos. En el nivel científico se ofrecen estructuras matemáticas que describen los fenómenos, y en el nivel meta-científico estructuras parciales que reflejan la relación entre los modelos teóricos, los modelos de datos y la estructura del mundo (French 2014, p. 115). French vincula estos dos niveles con la distinción introducida por Brading y Landry (2006) entre *presentación* y *representación*. Según estas autoras, debe distinguirse “la *presentación* de las entidades putativas por medio de la estructura compartida dada por nuestras teorías, y la *representación* de tales objetos (como aspectos del mundo) por dichas teorías. La pregunta obvia entonces es: ¿cómo es representada *esa estructura compartida*?” (2014, p. 101, énfasis nuestro). La respuesta de French es que dicha estructura compartida es representada en el nivel metateórico por medio de estructuras parciales. Estos dos niveles son cruciales para trazar una frontera entre lo matemático y lo físico en lo concerniente a las estructuras, porque es en el nivel de la *representación* metateórica donde se revela la naturaleza física de las estructuras que son meramente *pre-*

sentadas por la teoría mediante una descripción puramente matemática (en el caso de la física cuántica, por medio de simetrías e invariantes expresadas mediante teoría de grupos):

“Insistimos en que la estructura física es concreta, ya que puede estar relacionada —a través de isomorfismos parciales en el marco de las estructuras parciales, por ejemplo— con los «fenómenos» (físicos). Es así como el «contenido físico» entra en nuestras teorías y les permite ser (al menos parcialmente) interpretadas. (...) Pero claramente ese contenido debe ser entendido como fundamentalmente no-matemático” (French 2014, p. 199).

Hay al menos tres sentidos en los que la interpretación que French hace de la distinción defendida por Brading y Landry es fallida, lo cual socava su argumento en favor de la naturaleza física de las estructuras. Ahora bien, antes de especificar esos tres aspectos problemáticos, conviene echar un vistazo a la distinción tal como Brading y Landry la formulan. Su objetivo es doble. Por una parte, buscan dar con el punto preciso en el que el estructuralismo matemático se diferencia del estructuralismo científico; por otra, sientan las bases para una clasificación de grados de compromiso ontológico dentro del estructuralismo científico. En cuanto al primer punto, la distinción entre *presentar* y *representar* es clave. En una teoría matemática *presentar* un objeto mostrando su lugar en una estructura es equivalente a *representarlo*; en otras palabras, basta que una teoría hable de una entidad matemática para que dicha entidad sea el objeto de ese discurso. En cambio, una teoría física puede *hablar acerca* de electrones (o unicornios), sin *ser acerca* de electrones (unicornios); *presentarlos* no es equivalente a *representarlos* exitosamente o traerlos a la existencia (Brading y Landry 2006, p. 573).

En el dominio del estructuralismo científico, se es libre de adoptar distintos grados de compromiso respecto de la capacidad representativa de las teorías adoptando una actitud (*stance*) *metodológica*, *empírica* o *realista*. Es crucial aquí dar cuenta de cómo ocurre dicha decisión y cuál es exactamente su objeto para acabar de entender cabalmente la distinción entre *presentar* y *representar*. La teoría *presenta* una clase de objetos en sus modelos teóricos; estos modelos resultan aplicables a un modelo de datos si ambos tienen una estructura compartida, esto es, si puede probarse alguna relación relevante entre ellos (isomorfismo, homomorfismo, isomorfismo parcial, etc.). Pero esto es sólo un primer paso que no involucra todavía un contacto con el mundo. Dicho contacto se produce solamente si se brinda un relato adecuado de cómo esos modelos de datos efectivamente *representan* los fenómenos. Debemos “dar cuenta

de la *representación* en términos de la estructura compartida entre los modelos de datos y los fenómenos, de manera que los fenómenos acerca de los que la teoría se ocupa tengan la estructura apropiada” (Brading y Landry 2006, p. 575). Esto no es otra cosa que el *problema de la representación* sobre el que Reichenbach (1965 [1920]) llamó la atención, y que van Fraassen resume magistralmente: “¿cómo puede una entidad abstracta, como un espacio matemático, representar algo que no es abstracto, algo en la naturaleza?” (van Fraassen 2006, p. 537). El tipo de respuesta que se ofrezca depende del grado de compromiso ontológico que se esté dispuesto a asumir. Desde una actitud *realista*, el mundo determina la estructura de los fenómenos, y un modelo de datos los representa si se acomoda a esa estructura. Desde una actitud *empirista*, la teoría proyecta una estructura en los fenómenos¹. Desde una actitud *metodológica* que defienden Brading y Landry, el problema es ignorado, concentrándose sólo en las relaciones entre el modelo de datos y las subestructuras empíricas de los modelos teóricos.

Con esta breve reconstrucción en mente puede verse con más claridad cuáles son los tres sentidos en los que French malinterpreta la distinción introducida por Brading y Landry. El primero se vincula con el papel que cumple el enfoque de estructuras parciales (y de la concepción semántica de las teorías en general) en la representación de la realidad. Una de las principales motivaciones para trazar una distinción como la que Brading y Landry proponen consiste en mostrar las limitaciones propias de las herramientas de la concepción semántica para brindar un relato completo de cómo las teorías se relacionan con el mundo. Las herramientas semánticas requieren de una propuesta ontológica que dé cuenta de cómo los modelos de datos capturan la estructura objetiva de los fenómenos (Frigg 2006). Lo que French toma por el momento de la *representación* en el lenguaje metateórico es sólo un fragmento de lo realmente se requiere. Él mismo parece reconocer eso al afirmar que la noción de isomorfismo parcial propia de ese marco se extiende “tanto ‘verticalmente’ como ‘horizontalmente’ (...) [para] capturar las relaciones inter teóricas y las relaciones con los modelos de datos” (French 2014, p. 104). Es decir: excluye la relación con los fenómenos.

1 Si bien este es el modo en que Brading y Landry caracterizan la actitud empirista, podría pensarse que para ser consecuente con su tradición, un empirista debería afirmar que, aunque construido, el modelo de datos captura algún aspecto presente en los fenómenos.

En segundo lugar, contrariamente a lo que se afirma en el argumento, en la distinción de Brading y Landry no hay un desdoblamiento en dos niveles de representación. Además, para ellas, lo que se representa son los *fenómenos*, y no una *estructura compartida*. En varias ocasiones, French insiste en que “la ‘*estructura compartida*’ puede ser representada por estructuras modelo-teóricas (parciales), más iso/homomorfismos (parciales) asociados” (2014, p. 105, énfasis añadido). Esto suscita un problema con el sentido de ‘representación’. En el modo que Brading y Landry lo emplean, en el marco del estructuralismo científico no puede representarse una estructura compartida, puesto que no es algo en el mundo, sino una relación entre el mundo y la teoría (independientemente de que la ontología del mundo se esclarezca en términos de una metafísica tradicional o estructuralista). Por otra parte, suponiendo que French adapta la noción a sus propósitos, la relación de “*compartir estructura con*” es sólo aplicable cuando ambos términos son estructuras matemáticas. Y en un sentido laxo, como una relación entre la teoría y los fenómenos, es secundaria, puesto que es una mera consecuencia de la afirmación de que los fenómenos tienen estructura natural o dada.

En tercer lugar, incluso si se da por válido ese sentido laxo de *estructura compartida*, éste no nos informa nada acerca de la naturaleza de las entidades (objetos, propiedades, estructuras, etc.) reales. Además, si lo que efectivamente se representa, tal como French insiste en remarcar, es la estructura compartida entre los fenómenos y el modelo de datos, ello parece abonar la conclusión de que las estructuras del REO son entidades abstractas más que de naturaleza física. Compartir estructura es una relación que se da solamente entre entidades matemáticas y, en el caso de la representación científica, entre una entidad matemática (el modelo de datos) y una estructura concreta determinada por una función que capture las relaciones relevantes o naturales entre los fenómenos. Pero la estructura compartida, *qua* relación, no puede ser sino una entidad abstracta producto de poner en correlación fenómenos y modelo de datos.

Estas tres razones muestran que la estrategia de French para justificar el carácter físico de las estructuras postuladas por el REO mediante la distinción entre presentación y representación No logra su cometido.

2.3. Determinabilidad y modalidad

En un trabajo más reciente, French (2020a) propone apelar a nuevas herramientas conceptuales propias de la metafísica analítica para

dar cuenta de la naturaleza física de las estructuras postuladas por el REO. Las principales son la *determinabilidad* y la *modalidad*, analizada a partir de las nociones de potencia y posibilidad.

La *determinabilidad* juega un papel en el modo que el estructuralismo pretende dar cuenta de cómo las propiedades pueden ser “obtenidas” a partir de las simetrías. La ontología del REO tiene una sola categoría, la de estructura, que se hace concreta a través de la “concurrency” de propiedades, donde el análogo físico de esto último está dado por la conexión entre las propiedades relevantes, como carga, masa y spin, que caracterizan los tipos de partículas y la representación irreducible del espacio de Hilbert del grupo de Poincaré (restringido). Según French (2020a, p. 11), en tanto esas características se vinculan con las simetrías, la relación estructura-propiedad puede ser capturada en el marco estructuralista apelando la relación entre determinables y determinados. French adopta una reconstrucción particular de esa distinción. Siguiendo a Denby (2001), sostiene que la distinción entre determinables y sus determinados debe ser elevada de lo que podría considerarse una curiosidad local a una característica central de la naturaleza de las propiedades en general. Además, su reconstrucción invierte el orden tradicional de prioridad ontológica entre los determinables y los determinados.

French reconoce que esta herramienta, tal como fue concebida por Denby, se sostiene sobre una ontología de particulares y propiedades, pero afirma que, para adaptarla a sus necesidades, es preciso aplicar lo que denomina la “maniobra de Poincaré” (French 2014, pp. 66-68). Dicha maniobra consiste en negar la significación ontológica de cualquier mención de particulares u objetos, considerándolos como meros dispositivos heurísticos que nos permiten presentar en términos matemáticos la estructura que consideramos que tiene prioridad ontológica. La maniobra puede ser exitosa en lo relativo a los objetos: toda referencia objetos o individuos no agrega nada, cualitativamente hablando, respecto de lo que pueda decirse sobre el agregado de propiedades que “concurren” o “coinciden” en instanciaciones regulares. Ese fenómeno puede ser reconstruido metafísicamente de distintos modos —Chakravartty (2007) lo denomina “sociabilidad” de las propiedades y lo define como un hecho bruto—, pero la apelación a objetos u otro sustrato no aporta más que una explicación metafísica de la concurrency de las propiedades. No es claro, sin embargo, que la “maniobra de Poincaré” pueda aplicarse del mismo modo a las propiedades. Mientras que la categoría de particular puede eliminarse en favor de cúmulos o “concurrency” de propiedades,

la maniobra de Poincaré, aplicada a las propiedades relevantes no permite restarles significación ontológica en favor de la pura estructura, a menos que se brinde un relato positivo de cómo la identidad cualitativa de dichas propiedades se constituye a partir de aspectos puramente estructurales pudiendo, de ese modo, eliminar la categoría de propiedad o relegarla al rol de un mero dispositivo heurístico. El problema inicial de brindar una caracterización conceptualmente viable de la noción de estructura física parece seguir sin solución.

Además de la determinabilidad, French apela a la *modalidad*. Afirma que el carácter físico de las estructuras postuladas por el REO está dado por su naturaleza modal, rasgo ausente en las estructuras matemáticas. Si bien la estructura es identificada con las leyes y simetrías, esas leyes parecen no ser concebidas al modo del realismo nomológico tradicional; aquí “las leyes son simplemente aspectos relevantes de la estructura subyacente” (French 2014, p. 302). La noción de *gobierno* es sólo una metáfora para expresar primacía ontológica. Así, la naturaleza nomológica y, por ende, modal de las regularidades está asegurada de antemano. Sin embargo, esta caracterización parece diluir la distinción entre leyes y generalizaciones accidentales, por lo que la naturaleza nomológica de las estructuras no está justificada.

Más allá de esta dificultad, French abraza una reconstrucción de la modalidad basada en Vetter (2015), para quien la modalidad “en el mundo” debe ser entendida como *potencialidad*. Se trata de una caracterización de la modalidad considerada como una posibilidad posibilista, es decir, como una posibilidad ontológicamente densa que puede encontrarse “en el mundo”. Vetter caracteriza esa noción en términos de la relación determinable-determinado, a fin de admitir grados: los grados específicos en los que se puede poseer un determinable concreto son sus determinados; así, un bloque de concreto es menos rompible que una copa, ya que los dos objetos poseen diferentes determinados de la “rompibilidad” determinable. Del mismo modo, los objetos que tienen carga tienen una cierta potencialidad para ejercer una fuerza de acuerdo con la Ley de Coulomb y tienen esta potencialidad en un grado máximo; así, la carga eléctrica se identifica como la máxima potencialidad para ejercer una fuerza. Nuevamente, French reconoce que el empleo de estas nociones en un marco estructuralista requiere de la aplicación de la “maniobra de Poincaré”, en tanto las identidades de las propiedades relevantes no son dispensables en su contexto original. Por esa razón, las preocupaciones en torno a la caracterización de la pura estructura, más allá del carácter modal de las propiedades, reaparecen aquí.

3. Revisitando herramientas metafísicas

En esta sección, revisaremos las nociones de determinabilidad y modalidad, herramientas conceptuales que han sido empleadas recientemente en el debate sobre el realismo estructural óptico. Nuestro objetivo es doble: por un lado, clarificar estas nociones y distinguirlas de otras con las que a menudo se las confunde; por otro lado, mostrar cómo estas nociones, adecuadamente articuladas, pueden contribuir a una comprensión más profunda de la ontología cuántica propuesta por la MHI y, en particular, de su caracterización de la modalidad en vistas a una solución al problema de la indistinguibilidad.

3.1. Determinabilidad

Una distinción relativa a las propiedades, que no suele ser tenida suficientemente en cuenta en las discusiones acerca de la ontología cuántica (para excepciones, *cf.* Calosi y Wilson 2019, Calosi y Mariani 2021, Fletcher y Taylor 2024), es la diferencia tradicional entre determinables y determinados, es decir, propiedades que se encuentran en una relación de especificación distintiva; llamémosla ‘determinación’ (véase Wilson 2022). Por ejemplo, el color es un determinable que tiene como determinados el rojo, el azul y otros tonos específicos de color; la forma es un determinable que tiene como determinados la forma rectangular, ovalada y otras formas específicas (incluidas muchas irregulares); la masa es un determinable que tiene como determinados valores específicos de masa.

La relación de determinación difiere de otras relaciones de especificación. A diferencia de las relaciones género-especie y conyunto-conjunción, en las que la propiedad más específica puede entenderse como una conjunción de la propiedad menos específica y alguna propiedad o propiedades independientes, un determinado no puede tratarse naturalmente en términos conjuntivos (mientras que hombre puede concebirse como la conjunción entre animal y racional, el rojo no es una propiedad conjuntiva que tenga como conjuntos el color y alguna otra propiedad o propiedades). Y, a diferencia de la relación disyunto-disyunción, en la que los disyuntos pueden ser disímiles y compatibles (como en el caso de ‘rojo o redondo’), los determinados de un determinable son a la vez similares e incompatibles (rojo y azul son similares en el sentido de que ambos son colores, pero nada puede ser simultánea y uniformemente rojo y azul).

Es extremadamente importante enfatizar que la relación determinable-determinado no debe confundirse con la relación instancia-universal. Esta última es la relación entre una propiedad universal y sus muchas instancias: por ejemplo, la propiedad universal “color” tiene innumerables instancias de elementos coloreados. La primera, por el contrario, es la relación entre una propiedad y otras propiedades más específicas que son casos de ella: por ejemplo, el color determinable tiene como determinables el rojo, el verde, el amarillo, etc. La distinción entre los dos tipos de relación es clara en una ontología clásica. De hecho, la posición Q y el momento P de un objeto clásico particular, por ejemplo, una bola de billar, son instancias de las propiedades universales “posición” e “momento”, respectivamente. A su vez, la posición q_1 =“10 cm desde la esquina de la mesa” y el momento p_1 =“20 gr cm/sec con respecto a la mesa” (en ambos casos se toma como marco de referencia la mesa de billar) son determinados de los determinables Q =“posición de la bola de billar” y P =“momento de la bola de billar”, respectivamente. Además, esos determinados definen el estado clásico. s_1 de la bola de billar, concebida como un sistema clásico, en un instante dado t_1 : $s_1 = (q_1, p_1)$.

El principio de determinación omnimoda es un principio generalmente aceptado en la filosofía moderna. Por ejemplo, ya aparece en los trabajos de Wolff: “*Apparet hinc, individuum esse ens omnimode determinatum*” (“Por tanto, parece que un individuo es un ser completamente determinado”) (Wolff 1728, p. 152). También se encuentra en el famoso tratado de Bernoulli sobre el cálculo de probabilidades: “*Sed quicquam in se et sua natura tale esse [viz. incertum et indeterminatum], non magis a nobis posse concipi, quam concipi potest, inde simul ab Auctore naturæ creatum esse et non creatum*” (“Que algo sea incierto e indeterminado en sí mismo y por su propia naturaleza es tan inconcebible para nosotros como inconcebible sería que esa cosa hubiera sido creada y no creada por el Autor de la naturaleza”) (Bernoulli 1713, p. 227). También lo repite varias veces Kant en sus lecciones de metafísica: “*Alles, was existirt, ist durchgängig determinirt*” (“Todo lo que existe está continuamente determinado”) (1902, AA 18:332, 5710; AA 18:346, 5759; cf. también LM XXVIII 554).

La idea es que, en cualquier objeto, todos los determinables están determinados: si el determinable “color” se aplica a un objeto, el objeto tiene necesariamente algún color determinado, digamos rojo, independientemente de sus otras propiedades determinables, y también independientemente de nuestro conocimiento sobre cuál es ese color determinado. En otras palabras, no es posible que un objeto tenga una

propiedad determinable que no sea determinada: un objeto no puede ser de color sin ser de un color determinado, digamos, rojo, azul, blanco, etc.

Sin embargo, el teorema de Kochen-Specker (1967), que constituye un obstáculo para cualquier interpretación realista tradicional de la mecánica cuántica, demuestra la imposibilidad de atribuir simultáneamente valores precisos a todas las magnitudes físicas (observables) de un sistema cuántico, preservando al mismo tiempo las relaciones funcionales entre observables que conmutan. (cf., por ejemplo, Held 2022). Este teorema desafía el principio de determinación omnimoda: mientras que el principio se cumple en los sistemas clásicos, en el dominio cuántico todo sistema posee determinables que no se encuentran determinados.

3.2. Modalidad

Las discusiones acerca de la modalidad enfrentan a actualistas con posibilistas. Para los primeros, todo lo que es posible es o será actual en algún instante. Lo posible se reduce así a lo actual. Para los posibilistas, en cambio, los hacedores de verdad de los enunciados modales son auténticos posibilia localizados en el mundo actual. En un trabajo previo, denominamos ‘localismo modal’ a la posición que sostiene las siguientes dos tesis (i) los hacedores de verdad de proposiciones modales son entidades de nuestro mundo; (ii) dichas entidades son irreductiblemente modales (Borge y Lombardi 2025).

Diversas versiones del localismo modal se enfrentan a lo que le mismo French denomina ‘el problema del emplazamiento’ (French 2014, p. 263). La modalidad tiene que “encajar” en alguna parte de nuestra concepción metafísica, necesitamos un “asiento” para la modalidad. Debemos ser capaces de dar cuenta de qué es ese *algo* en el mundo actual en virtud del cual los enunciados contrafácticos o los enunciados legaliformes que soportan contrafácticos son verdaderos.

En el contexto de los debates sobre la metafísica de las leyes de la naturaleza, diversas posiciones han brindado alternativas. Para las teorías de gobierno (e.g. Armstrong 1983), la modalidad está emplazada en las leyes, entendidas como una relación de necesidad (un universal de segundo orden) instanciado en universales de primer orden, que impone necesidad y posibilidad a los eventos naturales. Los disposicionistas (e.g. Bird 2007), en cambio, ubican la modalidad en los poderes o disposiciones, entidades intrínsecamente modales, auto-gobernantes, capaces de cumplir el rol explicativo adjudicado a las leyes. Como he-

mos visto, el REO apuesta por asentar la modalidad sobre las leyes y simetrías mismas, entendidas como aspectos de la estructura del mundo.

Más allá de los detalles de cada posición y de los problemas y objeciones asociados a ellas, cabe destacar que cada una de las versiones del localismo modal ubica la modalidad en un único “lugar” o “asiento”, una única categoría ontológica aloja la modalidad irreducible. En otras palabras, la modalidad está mono-localizada en estas teorías. Como contrapartida, aquí se propondrá una noción bi-localizada de la modalidad. Desde esta perspectiva, la realidad está dividida en dos dominios: el dominio de lo actual y el de lo posible, constituido por posibilidades reales. En tanto ambos dominios constituyen partes de nuestro mundo, esta posición se alinea con lo que denominamos localismo modal. Sin embargo, se diferencia de las propuestas localistas mencionadas en tanto la modalidad no está situada en un único “lugar” o categoría de la ontología, sino que consideramos, en cambio, que el fenómeno modal es el resultado del interjuego del dominio de lo actual y el de lo posible.

Una segunda novedad conceptual es una distinción entre realización y actualización. Habitualmente, los determinables son instanciados por sus determinados, y eso equivale a tener instancias actuales (cf. Hale 1987; Wetzel 2002). Según nuestra propuesta, un determinable puede estar instanciado en el dominio de lo actual o de lo posible. Ello determina una distinción adicional de especial importancia entre hechos actuales y hechos posibles. Un hecho actual corresponde a la instanciación de un determinable en el dominio de lo actual, mientras que un hecho posible corresponde a la instanciación de un determinable en el dominio de lo posible.

4. La MHI: una ontología de propiedades

El objetivo de esta sección es exponer en detalle la estructura de la ontología propuesta por la MHI, ahora con los recursos técnicos metafísicos desarrollados en la sección previa. En particular, discutiremos la naturaleza de las propiedades que constituyen los elementos ontológicos fundamentales y argumentaremos que los sistemas cuánticos no son objetos en absoluto, sino meras colecciones de propiedades que no conservan su identidad ni sincrónica ni diacrónicamente. Más precisamente, los sistemas cuánticos resultan ser cúmulos de propiedades no-objetuales.

4.1. Propiedades-tipo y propiedades-caso

Aunque un formalismo no fija su interpretación, los formalismos no son ontológicamente neutrales: diferentes sistemas formales, incluso si son matemáticamente equivalentes, pueden sugerir ontologías diferentes. Un ejemplo relevante para la presente propuesta es la comparación entre el formalismo de espacios de Hilbert y el formalismo algebraico, tradicionalmente considerados matemáticamente equivalentes. El formalismo de espacios de Hilbert sugiere una ontología de sustancias y propiedades: sustancias etiquetadas por sus estados representados por vectores del espacio de Hilbert (estados que en la mecánica cuántica no son una mera colección de las propiedades del sistema, como en la mecánica clásica) y propiedades representadas por observables “aplicados” a los estados: operadores que actúan sobre vectores. En el enfoque algebraico, por el contrario, los elementos básicos de la teoría son los observables; los estados son lógicamente posteriores ya que están representados por funcionales sobre el conjunto de observables.

La MHI adopta un enfoque algebraico como punto de partida formal. Siguiendo la idea wittgensteiniana de que la estructura del lenguaje es también la estructura de la realidad, esta última puede entenderse estableciendo la contraparte ontológica del formalismo algebraico, es decir, proporcionando una interpretación para cada término físico/matemático. Así, si la prioridad lógica de los observables sobre los estados se transfiere al dominio ontológico, los observables resultan encarnar la representación de los ítems elementales de la ontología. En otras palabras, mientras que un reino de sustancias y propiedades parece ser la referencia natural de la teoría en el formalismo de Hilbert, el enfoque algebraico favorece la adopción de una ontología de propiedades, en la que la categoría ontológica de sustancia está ausente. Pero ahora es necesario discriminar entre diferentes especificaciones de la categoría de propiedad.

El término ‘*observable*’ se utiliza en física cuántica para referirse a ciertas magnitudes cuantificables de relevancia física, que están representadas matemáticamente por operadores autoadjuntos. Ontológicamente corresponden a elementos pertenecientes a la categoría de propiedad. A su vez, dado que en general los observables tienen valores diferentes, sus contrapartes ontológicas son *propiedades determinables*, que aquí se denominarán “*propiedades-tipo*”. Pero también es necesario decidir sobre la naturaleza misma de las propiedades: aquí se las concibe como universales. Por tanto, es necesario distinguir entre *propie-*

dades-tipo universales (propiedades-tipo-U) e instancias de propiedades-tipo universales (propiedades-tipo-I). Las contrapartes ontológicas de las magnitudes físicas generales son *propiedades-tipo-U*, y las de los observables son *propiedades-tipo-I*. Simbolizamos una propiedad-tipo-U como $\langle A \rangle$, y sus propiedades-tipo-I como $[A]$ (cf. da Costa, Lombardi y Lastiri 2013, da Costa y Lombardi 2014):

- Un ejemplo de propiedad-tipo-U es la energía, $\langle H \rangle$, que puede ser instanciada como la energía $[H]$ en este sistema particular $\mathcal{S}$. Otro ejemplo es el spin en la dirección x , $\langle S_x \rangle$, que puede instanciarse como el spin en la dirección x $[S_x]$ en $\mathcal{S}$. Recalquemos que, si bien esta forma de hablar parece referirse a una ontología de objetos, a continuación definiremos el concepto de sistema cuántico como un elemento ontológico no-objetual.
- En física, cada propiedad-tipo-I $[A]$ de la propiedad-tipo-U $\langle A \rangle$ está representada por un observable A perteneciente a un espacio de observables $\mathcal{O}$. Matemáticamente, cada observable está representado por un operador autoadjunto A perteneciente a un espacio de operadores autoadjuntos $\mathcal{O}$ ($A \in \mathcal{O}$).

Dado que un observable físico es una magnitud cuantificable, tiene diferentes *valores posibles*, que están representados matemáticamente por los autovalores del operador autoadjunto correspondiente. Sus contrapartes ontológicas son *propiedades determinadas*, que aquí se denominarán “*propiedades-caso*”. En este nivel también es necesario distinguir entre *propiedades-caso universales (propiedades-caso-U)* e *instancias de propiedades-caso universales (propiedades-caso-I)*: dada una propiedad-tipo-I $[A]$ de una propiedad-tipo-U $\langle A \rangle$, sus propiedades-caso-I se simbolizarán como $[a_i]$, cada una de las cuales es una instancia de la respectiva propiedad-caso-U simbolizada como $\langle a_i \rangle$ (cf. da Costa, Lombardi y Lastiri 2013; da Costa y Lombardi 2014):

- Siguiendo con los ejemplos anteriores, podemos hablar de las propiedades-caso-I $[\omega_i]$ (los valores de energía que constituyen el espectro del Hamiltoniano) de la energía $[H]$ en este sistema particular $\mathcal{S}$, donde $[H]$ es una propiedad-tipo-I de la propiedad-tipo-U energía $\langle H \rangle$. En el caso del ejemplo del spin, puede hablarse de las propiedades-caso-I $[\uparrow_x]$ $[\downarrow_x]$ del spin en la dirección x $[S_x]$ en $\mathcal{S}$, donde $[S_x]$ es una propiedad-tipo-I de la propiedad-tipo-U spin en la dirección x $\langle S_x \rangle$, y $[\uparrow_x]$ y $[\downarrow_x]$ son instancias de las propiedades-caso-U $\langle \uparrow_x \rangle$ y $\langle \downarrow_x \rangle$, respectivamente.
- En física, las propiedades-caso-I $[a_i]$ están representadas por los

valores posibles a_i del observable A . Matemáticamente, los valores posibles a_i están representados por los autovalores del operador autoadjunto A : $A = \sum_i a_i \Pi_i$, donde Π_i es el autoproyector correspondiente a a_i , tal que $\Pi_i = |a_i\rangle\langle a_i|$ en el caso no degenerado.

En esta propuesta ontológica, las propiedades-tipo se conciben como universales con sus correspondientes instancias. Una pregunta legítima es por qué no apelar a los tropos. La respuesta está fuertemente ligada al problema de la indistinguibilidad. Aunque puedan ser absolutamente similares, los tropos no son absolutamente indistinguibles ni solo numéricamente diferentes, precisamente porque pueden ser individualizados y distinguidos por su posición espacio-temporal (rojez aquí y ahora), por el objeto al que se aplican (el rojo de este globo individual), o porque la distinción entre ellos se considera primitiva. Dado que los elementos elementales de la ontología cuántica deberían ser adecuados para proporcionar los fundamentos de la indistinguibilidad cuántica, una ontología de tropos enfrentaría las mismas dificultades que una ontología de objetos, ya que en ambos casos son elementos distinguibles. Por el contrario, las instancias de un universal son absolutamente indistinguibles porque son manifestaciones de una misma propiedad: la redondez de una bola de billar y la redondez de una gota de agua son ambas instancias de la redondez universal, y tratar de distinguirlas como propiedades diferentes no tiene sentido. Por esta razón, un enfoque ontológico basado en universales y sus instancias allana el camino hacia una respuesta ontológicamente razonable al problema de la indistinguibilidad.

4.2. Propiedades posibles y propiedades actuales

Previamente subrayamos la importancia de no confundir entre la relación universal-instancia y la relación determinable-determinado mediante un ejemplo procedente de la mecánica clásica: la posición y el momento de una bola de billar particular como instancias determinables de las propiedades universales “posición” y “momento”, respectivamente, que tienen valores determinados con respecto a una mesa de billar. La diferencia entre las dos relaciones, universal-instancia y determinable-determinado, es completamente análoga en el marco cuántico. La diferencia entre el caso clásico y el cuántico no radica en esas relaciones, sino en el papel que desempeñan la posibilidad y la actualización. En el caso clásico, a cada determinable le corresponde, en

un instante dado, un único determinado posible y, en consecuencia, tal determinado se actualiza. Por ejemplo, en el instante t_1 , el determinable Q = “posición de la bola de billar” tiene un único determinado posible, digamos, q_1 =“10 cm desde la esquina de la mesa”, y esta es la posición determinada actual de la bola de billar en t_1 . En el caso cuántico, por el contrario, en un instante dado, los determinables pueden tener muchos determinados posibles diferentes, entre los cuales a lo sumo uno se vuelve actual. Por ejemplo, en un instante dado y en el sistema cuántico S , el determinable S_z =“spin en dirección z ” tiene dos determinados posibles, S_{z1} =“spin hacia arriba en dirección z ” y S_{z2} =“spin hacia abajo en dirección z ”: puede darse el caso de que uno de ellos se convierta en actual; pero, según el teorema de Kochen-Specker, también puede darse el caso de que ninguno de ellos se convierta en actual.

Llegados a este punto, conviene explicar por qué se ha preferido la terminología ‘propiedad-tipo’ y ‘propiedad-caso’ a la terminología tradicional ‘determinable’ y ‘determinado’. Esta última, acuñada a la luz de una ontología clásica, sugiere que la posibilidad se circunscribe al ámbito de lo determinable (posible de ser determinado), mientras que lo determinado se identifica con lo actual: a un determinable le corresponden distintos posibles pero, según el principio de determinación omnimoda, le corresponde un determinado único y actual. En el caso cuántico, por el contrario, las propiedades determinadas son también propiedades posibles, que pueden actualizarse o no: lo determinado no queda anclado al ámbito de la actual como en el caso de la ontología tradicional.

En términos más precisos, dada una propiedad-tipo-I $[A]$ de una propiedad-tipo-U $\langle A \rangle$, entre todas sus propiedades-caso-I posibles $[a_i]$, *no más de una* de ellas se convierte en actual. Cuando una de las $[a_i]$, por ejemplo $[a_k]$, se convierte en actual, puede decirse que la propiedad-tipo-I $[A]$ *se actualiza* y adquiere la *propiedad-caso-I actual* (*propiedad-caso-IA*) $[a_k]$ (cf. da Costa, Lombardi y Lastiri 2013, da Costa y Lombardi 2014). Aunque, en su lenguaje cotidiano, los físicos están acostumbrados a hablar del valor que “efectivamente” adquiere un observable —generalmente como resultado de una medición—, la mecánica cuántica no da cuenta de la actualización. En consecuencia, ni en el lenguaje físico ni en el matemático existe una representación de la propiedad-caso-IA $[a_k]$ como diferente de la propiedad-caso-I posible $[a_k]$.

Nótese que la cláusula “no más de una” en el párrafo anterior, que corresponde a “exactamente una” en el caso clásico, puede ser “cero” en el caso cuántico. En el vocabulario ontológico del presente trabajo,

propiedad-tipo-I [A] de una propiedad-tipo-U $\langle A \rangle$ puede o no actualizarse. Esto es una consecuencia del teorema de Kochen-Specker, que establece una de las diferencias centrales entre el mundo cuántico y el mundo clásico: en el caso cuántico, la determinación omnimoda no se cumple.

4.3. Los sistemas como cúmulos de propiedades

El problema de la naturaleza de los objetos sigue siendo una de las principales áreas de controversia en la metafísica contemporánea: ¿es un objeto un sustrato que sustenta propiedades o un mero “cúmulo” (*bundle*) de propiedades? (véase, por ejemplo, Robinson 2021; Rettler y Bailey 2022). La concepción de un objeto como sustrato que actúa como portador de propiedades ha impregnado la historia de la filosofía: está presente bajo diferentes formas, por ejemplo, en la “sustancia primera” de Aristóteles y en la “sustancia en general” de John Locke. Sin embargo, tras el rechazo de Hume de la idea de sustancia, muchos filósofos pertenecientes a la tradición empirista, como Bertrand Russell, Alfred Ayer y Nelson Goodman, han considerado la postulación de un sustrato carente de propiedades como un abuso metafísico, y han adoptado alguna versión de la “teoría del cúmulo”. Según esta teoría filosófica, un objeto no es más que un cúmulo de propiedades: las propiedades tienen prioridad metafísica sobre los objetos y son, por tanto, los elementos fundamentales de la ontología.

En la bibliografía se ha argumentado que la diferencia entre la teoría del sustrato y la teoría del cúmulo es sólo verbal: en la teoría del cúmulo el objeto resulta de una “relación de compresencia” que sirve a los mismos fines que la sustancia en la teoría tradicional del sustrato-más-atributos. Por tanto, la decisión de si un objeto es un sustrato que sustenta propiedades o simplemente un cúmulo de propiedades sigue siendo una cuestión de gusto metafísico (véase Benovsky 2008). Si bien esto puede ser así en el ámbito clásico, la mecánica cuántica pone en entredicho esta conclusión. De hecho, aunque en la presente propuesta los sistemas cuánticos se caracterizan ontológicamente como cúmulos de propiedades, es importante subrayar la peculiaridad de esta perspectiva.

El primer punto a considerar está relacionado con la diferencia entre determinables y determinados. Según las versiones tradicionales de la teoría del cúmulo, un objeto es la convergencia de ciertas propiedades determinables, bajo el supuesto de que las propiedades determinables son todas determinadas (determinación omnimoda). Por ejemplo, una

bola de billar es la confluencia de un valor determinado de posición, por ejemplo, aquí, una forma determinada, por ejemplo, redonda, un color determinado, por ejemplo, blanco, etc. Así pues, el problema consiste en decidir si este objeto es un sustrato en el que confluyen la posición definida, la redondez y la blancura, o es el mero cúmulo de esas propiedades determinadas. Pero en ambos casos las propiedades que componen el conjunto son propiedades actuales. En el caso cuántico, por el contrario, no todas las propiedades determinables de un sistema están determinadas; en consecuencia, el sistema no puede identificarse con un cúmulo de propiedades determinadas. Por esta razón, en la presente propuesta, un sistema cuántico se concibe como un cúmulo de determinables, es decir, un cúmulo de propiedades-tipo-I, cada una de ellas con sus posibles determinados, es decir, propiedades-caso-I. Esta es la primera razón por la que esta interpretación de la naturaleza de los sistemas cuánticos no puede asimilarse a la noción tradicional de objeto.

Por otro lado, en sus versiones tradicionales, la teoría del cúmulo es una teoría sobre objetos particulares, según la cual los objetos están compuestos de elementos de una categoría ontológica diferente (a saber, propiedades). En otras palabras, la teoría del cúmulo está diseñada para dar cuenta de los objetos sin apelar a un sustrato en el que se inhieren las propiedades (véase, por ejemplo, O'Leary-Hawthorne 1995; French y Bigaj 2024). Para ello, algunas propiedades deben ser seleccionadas para desempeñar el papel de principio que proporciona identidad sincrónica y diacrónica. La concepción propuesta de los cúmulos cuánticos, por el contrario, prescinde completamente de la categoría ontológica de objeto: los cúmulos de propiedades no se comportan en absoluto como objetos, ya que pertenecen a una categoría ontológica diferente. Sobre esta base, cuando dos sistemas-cúmulos se combinan, el sistema compuesto es también un cúmulo. Y puesto que los cúmulos no son objetos, no hay ningún principio que preserve su identidad en el compuesto: en el sistema compuesto no se preserva la identidad de los componentes, precisamente porque no son objetos en absoluto. También en este sentido los sistemas cuánticos se conciben como *cúmulos no-objetuales de propiedades*.

En términos más precisos, (cf. da Costa, Lombardi y Lastiri 2013), un cúmulo $\mathfrak{B} = \{[A], [B], [C], \dots\}$ es una colección de propiedades-tipo-I $[A], [B], [C], \dots$ correspondientes a las propiedades-tipo-U $\langle A \rangle, \langle B \rangle, \langle C \rangle, \dots$. Dado que en el formalismo algebraico el concepto físico de sistema cuántico $\mathcal{S}$ está representado matemáticamente por un álgebra de observables, el concepto de cúmulo es el correlato ontológico del con-

cepto físico de *sistema*. Esto significa que el cúmulo $\mathfrak{B}$ está representado físicamente por un sistema $\mathcal{S}$, que se identifica mediante un espacio de observables $\mathcal{O}$. A su vez, matemáticamente, un sistema físico $\mathcal{S}$ está representado por el espacio de operadores autoadjuntos $\mathcal{O}$.

Precisamente por su naturaleza no-objetual, los sistemas-cúmulos requieren un tipo de lógica diferente. Una imagen ontológica en la que las propiedades son los elementos elementales, y no constituyen objetos, no es captada adecuadamente por ninguna teoría formal cuyos símbolos elementales sean variables individuales referidas a objetos clásicos. Pero la mayoría de los sistemas de lógica están diseñados para lidiar con objetos. Una salida a este problema es desarrollar una “lógica de predicados” en el espíritu del “cálculo de relaciones” propuesto por Alfred Tarski (1941), en el que las constantes y variables individuales están ausentes. Una estrategia diferente consiste en aplicar la teoría de los cuasiconjuntos (véase, por ejemplo, Krause 1992; da Costa y Krause 1999): aunque fue concebida originalmente para proporcionar un formalismo para objetos cuánticos indiscernibles, puede adaptarse para tratar formalmente agregados de elementos que no pertenecen a la categoría ontológica de objeto sino a la de propiedad, de modo que los cúmulos resultan estar representados por cuasiconjuntos de propiedades (para una presentación detallada, cf. Holik, Jorge, Krause y Lombardi 2022).

4.4. Propiedades físicas y estructura de los haces cuánticos

Hasta aquí, la ontología cuántica se describe como un reino habitado solo por propiedades, en el cual los sistemas son cúmulos no-objetuales de propiedades. Sin embargo, esta caracterización sigue siendo formal, ya que no dice nada sobre qué propiedades pueblan efectivamente el dominio cuántico. De hecho, las propiedades implicadas en la ontología cuántica no son propiedades genéricas, sino *propiedades físicas*.

Como señala Leslie Ballentine (1998), aunque la estructura formal de la mecánica cuántica es una base necesaria para la formulación de la teoría, tiene por sí misma muy poco contenido físico. Cuando hay que enfrentarse a problemas físicos concretos, es preciso identificar los observables relevantes del sistema, dotados de un significado físico claro. Estos observables están estrechamente relacionados con las transformaciones de simetría espacio-temporal. En particular, las simetrías espacio-temporales representadas por el grupo de Galileo identifican las magnitudes físicas fundamentales de la teoría: la energía, las tres componentes del momento cinético, las tres componentes del momento

angular y las tres componentes del impulso (*boost*). El resto de las magnitudes físicas pueden definirse en términos de estas básicas. En resumen, las simetrías espacio-temporales dotan al formalismo de mecánica cuántica del contenido que la convierte en una teoría física bien especificada. Desde el punto de vista ontológico, desempeñan el papel de identificar las propiedades físicas fundamentales del reino cuántico.

Otra cuestión importante es qué mantiene unidas las propiedades en el sistema-cúmulo. Según la teoría del cúmulo tradicional, los objetos se componen de elementos de una categoría diferente: son cúmulos de propiedades. Sin embargo, no cualquier colección de propiedades forma un cúmulo que constituye un objeto: siguiendo a Russell (1940), las propiedades deben tener una relación que las una para constituir un objeto. En consecuencia, los objetos son o bien conjuntos de universales coinstanciados desde la perspectiva de los universales, o bien conjuntos de tropos compresentes desde la perspectiva de los tropos. Tanto la coinstanciación como la compresencia, que vinculan las propiedades entre sí, se consideran comúnmente relaciones primitivas, que sirven a los mismos fines que la sustancia o los particulares desnudos en la visión ontológica tradicional del objeto y las propiedades.

En el caso cuántico, no todas las propiedades-tipo-I del sistema-cúmulo tienen una propiedad-caso-I actual. Por esta razón, en la propuesta ontológica de la MHI, un sistema cuántico no es un cúmulo de propiedades-caso-I actuales, sino un cúmulo de propiedades-tipo-I, es decir, instancias de propiedades-tipo universales, y el propio cúmulo está representado formalmente por el espacio de elementos autoadjuntos de un álgebra de observables. La agrupación de propiedades en el cúmulo, en este caso, no requiere una relación de coinstanciación o compresencia que desempeñe el papel de la sustancia al dotar al cúmulo de una característica que lo distinga de otros cúmulos y lo reidentifique a lo largo del tiempo. Estas relaciones no son necesarias precisamente porque los cúmulos no son objetos.

¿Significa esto que un cúmulo cuántico es una mera colección o agregado de propiedades, sin nada que las relacione entre sí? La respuesta a esta pregunta es negativa. Los sistemas-cúmulos tienen una estructura interna bien definida, dada por las relaciones específicas que vinculan entre sí las propiedades-tipo-I del cúmulo. Esas relaciones ontológicas están representadas formalmente por las *relaciones de conmutación* de la forma $[A, B] = C$ entre los observables del álgebra. En otras palabras, lo que “une” a las propiedades-tipo-I en un cúmulo es una *estructura de relaciones* físicamente significativa, que está representada con precisión

por la estructura matemática del espacio de operadores autoadjuntos incluidos en el álgebra correspondiente. Esa estructura de relaciones no está vagamente definida ni es arbitraria, sino que se deriva del grupo de simetría de la mecánica cuántica. En tanto grupo de Lie, el grupo de Galileo se define por las relaciones de conmutación entre sus generadores, que representan los observables físicos básicos de la teoría.

En resumen, el grupo de simetría de la mecánica cuántica dota a la estructura de la ontología cuántica de una referencia física precisa. En este sentido, el grupo de Galileo desempeña un doble papel. Por un lado, define el contenido físico de las propiedades que componen los sistemas-cúmulos. Por otra parte, establece las relaciones entre las propiedades del cúmulo; estas relaciones son las que dan cohesión al cúmulo sin convertirlo en un objeto tal como lo concibe la metafísica tradicional. Desde un punto de vista más general, esta subsección muestra que física y metafísica no están reñidas en absoluto; por el contrario, cuando las nociones metafísicas se dilucidan desde un principio, pueden adquirir contenido físico de forma natural.

5. El desafío ontológico de la indistinguibilidad

Mientras que la concepción heredada afirma que los sistemas cuánticos son no-individuos, también se ha sugerido que ni siquiera son objetos en absoluto (Quine 1976). Sin embargo, estos puntos de vista no dan ninguna caracterización metafísica de esos elementos más allá de su no-individualidad o no-objetualidad. Por el contrario, en la ontología de propiedades propuesta, los sistemas cuánticos no-objetuales se caracterizan de forma positiva y precisa en términos metafísicos como cúmulos de propiedades-tipo-I. Además, las propiedades-tipo-I, con sus correspondientes propiedades-caso-I, se representan física/formalmente con precisión mediante observables/operadores de un álgebra.

Como ya fue señalado, las instancias de un universal son absolutamente indistinguibles porque son manifestaciones de una misma propiedad. Por lo tanto, en marco ontológico de la MHI, la *indistinguibilidad* es primariamente una *relación entre dos propiedades-caso-I* cuando son instancias de una misma propiedad-caso-U. Esta indistinguibilidad es heredada por las propiedades-tipo-I, que resultan ser indistinguibles cuando sus respectivas propiedades-caso-I lo son. A partir de este significado primario aplicado a propiedades, la indistinguibilidad adquiere un significado derivado cuando se aplica a cúmulos: dos sistemas-cúmulos son indistinguibles cuando sus respectivas propiedades-tipo-I

son indistinguibles. Tanto las propiedades-caso-I y las propiedades-tipo-I indistinguibles como los sistemas-cúmulos indistinguibles son solo numéricamente diferentes. Sin embargo, esto no implica que el principio de identidad de los indiscernibles sea falso para ellos: mientras que el principio se refiere a la identidad de objetos indiscernibles, en la ontología de la MHI la indistinguibilidad es una relación entre elementos pertenecientes a la categoría ontológica de propiedad y, en consecuencia, el principio de identidad de los indiscernibles no se les aplica. Es precisamente la caracterización positiva de los sistemas cuánticos la que hace conceptualmente significativa esta no aplicabilidad del principio.

Ahora es importante mostrar las consecuencias formales de este cuadro ontológico. Consideremos dos cúmulos $\mathfrak{B}^1$ y $\mathfrak{B}^2$, que se combinan para dar lugar a un agregado $\mathfrak{B}^{\text{agg}} = \mathfrak{B}^1 * \mathfrak{B}^2$. Si los cúmulos $\mathfrak{B}^1 = \{[A_i^1]\}$ y $\mathfrak{B}^2 = \{[A_j^2]\}$ están representados física/matemáticamente por los espacios de observables/operadores autoadjuntos $\mathcal{O}^1$ y $\mathcal{O}^2$, tales que $A_i^1 \in \mathcal{O}^1$, $A_j^2 \in \mathcal{O}^2$, entonces las propiedades-tipo-I $[C^{\text{agg}}]$ pertenecientes a $\mathfrak{B}^{\text{agg}}$ están representados por operadores de la forma:

$$C^{\text{agg}} = \sum_{ij} k_{ij} (A_i^1 \otimes A_j^2) \in \mathcal{O}^c = \mathcal{O}^1 \otimes \mathcal{O}^2$$

Consideremos ahora que los dos cúmulos son indistinguibles. En este caso es natural esperar que las propiedades-tipo-I pertenecientes al nuevo cúmulo $\mathfrak{B}^{\text{agg}}$ no distingan entre los cúmulos originales. En palabras sencillas, cuando dos cúmulos indistinguibles se fusionan en un solo todo, qué cúmulo se toma primero y cuál segundo no importa en absoluto, precisamente por ser indistinguibles. En términos ontológicos se puede decir que *la operación de agregación de cúmulos indistinguibles es conmutativa*: $\mathfrak{B}^{\text{agg}} = \mathfrak{B}^1 * \mathfrak{B}^2 = \mathfrak{B}^2 * \mathfrak{B}^1$ (cf. da Costa, Lombardi y Lastiri 2013). Esta conmutatividad añade una restricción a las propiedades-tipo-I $[C^{\text{agg}}]$ del cúmulo $\mathfrak{B}^{\text{agg}}$ resultante de la agregación. Matemáticamente, requiere que los operadores C^{agg} sean tales que $A_i^1 \otimes A_j^2 = A_j^2 \otimes A_i^1$. En otras palabras, las propiedades-tipo-I $[C^{\text{agg}}] \in \mathfrak{B}^{\text{agg}}$ están representados por operadores que son *simétricos* con respecto a la permutación entre $\mathfrak{B}^1$ y $\mathfrak{B}^2$. Tomando el caso más simple $C^{\text{agg}} = A^1 \otimes B^2$, si los componentes de A^1 y B^1 son a_{ij} y b_{mn} respectivamente, los componentes de C^{agg} son $c_{ijmn} = a_{ij} b_{mn} = a_{mn} b_{ij} = c_{mnij}$.

En definitiva, la indistinguibilidad entre propiedades-caso-I conduce a la indistinguibilidad entre propiedades-tipo-I, que conduce a su vez a la indistinguibilidad entre cúmulos. Debido a su indistinguibilidad, cuando dos cúmulos indistinguibles se combinan en un agregado, la operación de agregación es conmutativa. Y es esta conmutatividad la

que conduce a la simetría de permutación en el cúmulo resultante de la agregación: los operadores que representan las propiedades-tipo-I pertenecientes al nuevo cúmulo son simétricos respecto de la permutación de los índices correspondientes a los dos operadores componentes.

Este resultado brinda una solución al problema de la indistinguibilidad basada en la eliminación de la categoría de objeto. Asimismo, la MHI incorpora en esta solución las herramientas metafísicas con las que los estructuralistas ópticos pretenden esclarecer la naturaleza de las estructuras físicas: la determinabilidad y una caracterización posibilista de la modalidad. Otros aspectos ponen en continuidad los proyectos de la MHI y del REO. La limitación expresiva de la mayoría de los sistemas lógicos para lidiar con la ontología de la MHI se corresponde con las limitaciones encontradas por los defensores del REO para expresar su posición. En efecto, French y Ladyman (2003, p. 41) señalan “las insuficiencias descriptivas de la lógica moderna y la teoría de conjuntos que conservan el marco clásico de individuos representados por variables y que son objeto de predicación o pertenencia respectivamente”.

Del mismo modo, French (2020b, p. 4) reconoce que la visión de los cúmulos no-objetuales propuesta por la MHI encuentra una resonancia natural con el REOico. De hecho, la ontología de las propiedades, tal y como se introduce en este trabajo, puede concebirse como un intento de completar la imagen sugerida por el REO mediante la identificación precisa de los elementos pertenecientes a la categoría de propiedad que constituyen la estructura del reino cuántico. No obstante, una diferencia persiste: el REO propone una ontología sustentada por una única categoría ontológica, la de estructura física, en la que las demás categorías carecen de significación ontológica y son reducidas a meros recursos heurísticos. Eso incluye, claro está, la categoría de propiedad. Con todo, como hemos afirmado, el defensor del REO tiene como deuda brindar un relato positivo de cómo las propiedades pueden ser eliminadas en favor de las estructuras.

6. Comentarios finales

El REO afronta el problema de la indistinguibilidad eliminando la categoría de objeto en favor de un compromiso con las estructuras físicas. La naturaleza de estas estructuras es esclarecida, a su vez, mediante su identificación con las leyes y simetrías relevantes. Sin embargo, los diversos intentos del REO de caracterizar las leyes y simetrías y dar cuenta de un panorama metafísico completo a partir de la sola categoría

de estructura parecen haber sido infructuosos. La búsqueda de nuevas nociones en la “caja de herramientas” de la metafísica no ha resuelto el problema. La apelación a la determinabilidad y la modalidad no permiten esclarecer cómo las puras estructuras físicas pueden dar cuenta de nuestro discurso sobre propiedades y objetos. Mientras que la “manobra de Poincaré” puede ser aplicada para eliminar la categoría de objeto, las propiedades presentan una resistencia infranqueable a ser reducidas a estructuras. En este contexto, la caracterización de estas estructuras como “físicas” se asemeja más a una expresión de deseo que al resultado de una reconstrucción filosófica exitosa.

La MHI, por su parte, permite dar cuenta del fenómeno de la indistinguibilidad incorporando orgánicamente la determinabilidad y una caracterización posibilista sofisticada de la modalidad. En consonancia con los principios del REO, la MHI elimina la categoría de objeto y hace énfasis en los aspectos estructurales que organizan los sistemas cuánticos como cúmulos no-objetuales de propiedades.

No obstante, presumiblemente, la respuesta de los realistas estructurales ónticos a esta alternativa sea la siguiente: incluso tratándose de una posición que prescinde de la categoría de objeto, MHI es una ontología de propiedades y por, tanto, no consigue armonizar con una física que, leída adecuadamente desde la filosofía de la ciencia, sugiere un compromiso ontológico con las puras estructuras. En este punto, tal vez no quede mucho más que podamos hacer más allá de reclamar un relato más sofisticado y adecuado de la naturaleza de las estructuras. Interpretaciones como MHI pueden no ser, a los ojos del REO, suficientemente estructuralistas. Es por ello que, en lugar de jugar el juego de las objeciones, quisiéramos concentrarnos en elaborar una hipótesis histórico-conceptual de la persistencia de los defensores del REO en su compromiso con una ontología estructuralista eliminativista de una sola categoría. Dicha hipótesis se relaciona con las motivaciones para el REO expuestas en la primera sección de este trabajo.

El impacto de la propuesta radical del REO de subvertir toda una tradición metafísica que había postulado a los individuos u objetos como ontológicamente primarios respecto de las relaciones promovió una novedad que, desde hace ya casi tres décadas, ha motivado análisis y propuestas diversas, sumándose a la creciente tendencia de resolver algunos problemas propios de la filosofía de la ciencia con herramientas oriundas de la metafísica analítica, y de intentar naturalizar algunos problemas metafísicos tradicionales, como por ejemplo el de la individualidad. El REO no solamente fue, en los últimos años, parte central

del desarrollo de la metafísica de la ciencia: podría afirmarse que se trata de un programa de investigación filosófica dentro de la metafísica de la ciencia. Pero es interesante observar que el compromiso del REO con la ontología eliminativista de estructuras físicas se ha mantenido durante estos años conjuntamente con una pretensión adicional: la de ofrecer una ontología general, que caracterice la estructura del mundo en todos sus aspectos y en todos los niveles de realidad. Este rasgo tiene un origen paradójico. Por una parte, se relaciona directamente con la tradición filosófica en la que se inscriben todas las discusiones acerca del realismo científico, caracterizada, entre otras cosas, por un intento de generar una imagen metafísica completa del mundo. En otras palabras, el proyecto general sellarsiano de conciliar la imagen manifiesta con la imagen científica del mundo. Sin embargo, por otra parte, este rasgo entra en evidente tensión con la posición que constituye el antecedente histórico y conceptual inmediato del REO, a saber, el realismo estructural epistémico. Esta posición no solamente se abstiene de elaborar un relato metafísico acerca de la naturaleza de las entidades inobservables, sino que afirma de manera categórica la imposibilidad de que, mediante dispositivos empíricos o teóricos, podamos llegar a tener conocimiento acerca de dicha naturaleza. La apuesta filosófica novedosa que constituyó la reificación ontológica de las estructuras es en gran medida responsable de la tensión que el REO enfrenta todavía hoy en día, una tensión entre postular como fundamental una categoría ontológica altamente controvertida, y tratar de construir con ella una imagen *completa y totalizadora* del mundo. Es el resultado, dicho de otro modo, de constituir en materia prima de la realidad lo que fue concebido simplemente como una descripción de un límite a nuestras capacidades epistémicas.

Sobre el fondo de estas consideraciones se hace interesante contrastar la pretensión ontológica totalizadora del REO con el realismo pluralista en el que se enmarca la MHI (cf. Lombardi 2023). A la luz de estas consideraciones cabe pensar que, si abandonamos la pretensión de describir el panorama metafísico del mundo a partir de una única categoría ontológica y en un único nivel, la MHI sea una mejor candidata que el REO para erigirse como una *ontología estructuralista* del mundo cuántico, al menos, tan estructuralista como se puede ser.

Referencias bibliográficas

- Armstrong, D. M. (1983). *What Is a Law of Nature?* Cambridge: Cambridge University Press.
- Ballentine, L. (1998). *Quantum Mechanics: A Modern Development*. Singapore: World Scientific
- Benovsky, J. (2008). “The bundle theory and the substratum theory: deadly enemies or twin brothers?”. *Philosophical Studies* 141 (2): 175-190.
- Bernoulli, J. (1713). *Ars Conjectandi, Opus Posthumum. Accedit Tractatus de Seriebus Infinitis, et Epistola Gallice Scripta de Ludo Pilae Reticularis*. Basel: Thurneysen.
- Bird, A. (2007). *Nature’s Metaphysics: Laws and Properties*. Oxford: Oxford University Press.
- Borge, B. y Lombardi, O. (2025). “Modalidad en mecánica cuántica”. *Revista de Filosofía*, en prensa.
- Brading, K. y Landry, E. (2006). “Scientific structuralism and the semantic view of scientific theories”. *Philosophy of Science* 73 (5): 571-583.
- Busch, J. (2003). “The time-energy uncertainty relation”. En J. Muga, R. Sala Mayato, e Í. Egusquiza (eds), *Time in Quantum Mechanics*, 73-105. Berlin: Springer.
- Calosi, C. y Mariani, M. (2021). “Quantum indeterminacy”. *Philosophy Compass* 16: e12731.
- Calosi, C. y Wilson, J. M. (2019). “Quantum metaphysical indeterminacy”. *Philosophical Studies* 176 (10): 2599-2627.
- Cao, T. Y. (2003). “Structural realism and the interpretation of quantum field theory”. *Synthese* 136 (1): 3-24.
- Chakravartty, A. (2003). “The structuralist conception of objects”. *Philosophy of Science* 70 (5): 867-878.
- (2007). *A Metaphysics for Scientific Realism: Knowing the Unobservable*. Cambridge: Cambridge University Press.
- da Costa, N. C. A. y Krause, D. (1999). “Set-theoretical models for quantum systems”. En M. L. Dalla Chiara, R. Giuntini y F. Laudisa (eds), *Language, Quantum, Music*, 171-181. Berlin: Springer.
- da Costa, N. C. A., Lombardi, O. y Lastiri, M. (2013). “A modal ontology of properties for quantum mechanics”. *Synthese* 190 (17): 3671-3693.
- da Costa, N. C. A. y Lombardi, O. (2014). “Quantum mechanics: ontology without individuals”. *Foundations of Physics* 44 (12): 1246-1257.
- Denby, D. A. (2001). “Determinable nominalism”. *Philosophical Studies* 102 (3): 297-327.

- Esfeld, M. (2009). "Hypothetical metaphysics of nature". En F. Stadler (ed), *The Present Situation in the Philosophy of Science*, 339-354. Berlin: Springer.
- Fletcher, S. C. y Taylor, D. E. (2024). "The representation and determinable structure of quantum properties". *Synthese* 204 (2): art. 44. <https://doi.org/10.1007/s11229-024-04631-x>
- French, S. (1989). "Identity and individuality in classical and quantum physics". *Australasian Journal of Philosophy* 67 (4): 432-446.
- (1998). "On the withering away of physical objects". En E. Castellani (ed), *Interpreting Bodies: Classical and Quantum Objects in Modern Physics*, 93-113. Princeton: Princeton University Press.
- (2006). "Structure as a weapon of the realist". *Proceedings of the Aristotelian Society* 106 (2): 167-185.
- (2014). *The Structure of the World: Metaphysics and Representation*. Oxford: Oxford University Press.
- (2020a). *There Are No Such Things as Theories*. Oxford: Oxford University Press.
- (2020b). "What is this thing called structure? (Rummaging in the toolbox of metaphysics for an answer)." URL: <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/16921/> [Consulta: 01/01/2025].
- (2021). "Author's response: Steven French: There are no such things as theories. Oxford: Oxford University Press". *Metascience* 30 (1): 23-29.
- French, S. y Bigaj, T. (2024). "Identity and individuality in quantum theory". En E. N. Zalta y U. Nodelman (eds), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de primavera 2024). URL: <https://plato.stanford.edu/entries/qt-idind/> [Consulta: 01/01/2025].
- French, S. y Krause, D. (2006). *Identity in Physics: A Historical, Philosophical, and Formal Analysis*. Oxford: Oxford University Press.
- French, S. y Ladyman, J. (2003). "Remodelling structural realism: Quantum physics and the metaphysics of structure". *Synthese* 136 (1): 31-56.
- Frigg, R. (2006). "Scientific representation and the semantic view of theories". *Theoria* 55 (1-3): 49-65.
- Hale, B. (1987). *Abstract Objects*. Oxford: Basil Blackwell.
- Held, C. (2022). "The Kochen-Specker Theorem". En E. N. Zalta (ed), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de Otoño 2022). URL: <https://plato.stanford.edu/entries/kochen-specker/> [Consulta: 01/01/2025].
- Holik, F., Jorge, M., Krause, D. y Lombardi, O. (2022). "Quasi-set theory for a quantum ontology of properties". *Synthese* 200 (7): art. 401. <https://doi.org/10.1007/s11229-022-03884-8>

- Kant, I. (1902). *Gesammelte Schriften* [Collected writings]. Berlin: Herausgegeben von der Preußischen Akademie der Wissenschaften (Bde. 1-22), der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Bd. 23), und der Akademie der Wissenschaften zu Göttingen (Bde. 24, 25, 27-29).
- Kochen, S. y Specker, E. P. (1967). "The problem of hidden variables in quantum mechanics". *Journal of Mathematics and Mechanics* 17 (1): 59-87.
- Krause, D. (1992). "On a quasi-set theory". *Notre Dame Journal of Formal Logic* 33 (3): 402-411.
- Ladyman, J. (1998). "What is structural realism?". *Studies in History and Philosophy of Science Part A* 29 (3): 409-424.
- Lombardi, O. (2023). "A Kantian-rooted pluralist realism for science." En C. Soto (ed), *Current Debates in Philosophy of Science: In Honor of Roberto Torretti*, 81-101. Cham: Springer-Synthese Library.
- Morganti, M. (2004). "On the preferability of epistemic structural realism". *Synthese* 142 (1): 81-107.
- Muller, F. A. y Saunders, S. (2008). "Discerning fermions". *The British Journal for the Philosophy of Science* 59 (3): 499-548.
- Muller, F. A. y Seevinck, M. P. (2009). "Discerning elementary particles". *Philosophy of Science* 76 (2): 179-200.
- Newman, M. H. A. (1928). "Mr. Russell's "causal theory of perception"". *Mind* 37 (146): 137-148.
- O'Leary-Hawthorne, J. (1995). "The bundle theory of substance and the identity of indiscernibles". *Analysis* 55 (3): 191-196.
- Psillos, S. (2001). "Is structural realism possible?". *Philosophy of Science* 68 (3): S13-S24.
- (2006). "The structure, the whole structure, and nothing but the structure?". *Philosophy of Science* 73 (5): 560-570.
- Quine, W. V. O. (1976). "Whither physical objects?". En R. S. Cohen, P. K. Feyerabend y M. W. Wartofsky (eds), *Essays in Memory of Imre Lakatos*, 497-504. Berlin: Springer.
- Reichenbach, H. (1965). *The Theory of Relativity and A Priori Knowledge*. Berkeley: University of California Press.
- Rettler, B. y Bailey, A. M. (2022). "Object". En E. N. Zalta (ed), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de invierno 2022). URL: <https://plato.stanford.edu/entries/object/> [Consulta: 01/01/2025].
- Robinson, D. (2021). "Substance". En E. N. Zalta (ed) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de otoño 2021), URL: <https://plato.stanford.edu/archives/fall2021/entries/substance/> [Consulta: 01/01/2025].

- Russell, B. (1940). *An Inquiry into Meaning and Truth*. Londres: Allen and Unwin.
- Saunders, S. (2003). "Physics and Leibniz's principles". En K. Brading y E. Castellani, *Symmetries in Physics: Philosophical Reflections*, 289-307. Cambridge: Cambridge University Press
- Tarski, A. (1941). "On the calculus of relations". *The Journal of Symbolic Logic* 6 (3): 73-89.
- van Fraassen, B. C. (1985). "Statistical behaviour of indistinguishable particles: Problems of interpretation". En P. Mittelstaedt y E.-W. Stachow (eds), *Recent Developments in Quantum Logic*, 161-187. Leipzig: Bibliographisches Institut.
- (2006). "Representation: the problem for structuralism". *Philosophy of Science* 73 (5): 536-547.
- Vetter, B. (2015). *Potentiality: From Dispositions to Modality*. Oxford: Oxford University Press.
- Wetzel, L. (2002). "Types and tokens". En E. N. Zalta (ed), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de otoño 2002). URL: <https://plato.stanford.edu/entries/types-tokens/> [Consulta: 01/01/2025].
- Wilson, J. M. (2022). "Determinables and determinates". En E. N. Zalta y U. Nodelman (eds), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Edición de invierno 2022), URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2022/entries/determinate-determinables/> [Consulta: 01/01/2025].
- Wolff, Ch. (1728). *Philosophia Rationalis Sive Logica*. Reimpresión de la edición de 1740, con introducción, notas e índice (1980) por Jean École (ed). Nueva York: Georg Olms.
- Worrall, J. (1989). "Structural realism: the best of both worlds?". *Dialectica* 43 (1-2): 99-124.