Revista de Filosofía
Volumen 81 (2024) 25-48
Artículo
Doi: 10.5354/0718-4360.2024.74856

MODALIDAD EN MECÁNICA CUÁNTICA

MODALITY IN QUANTUM MECHANICS

Bruno Borge[1]
CONICET - Universidad de Buenos Aires
brunojborge@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1755-9690

Olimpia Lombardi[2]
CONICET - Universidad de Buenos Aires
OLIMPIAFILO@GMAIL.COM
ORCID: 0000-0003-2204-7902

Recibido: 31-05-2024 • Aceptado: 10-09-2024

1 Licenciado y doctor en filosofía, Universidad de Buenos Aires. Es investigador adjunto de CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y docente de Filosofía de las Ciencias en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aire. Investigador visitante en la Universidad Complutense de Madrid, el Centre for Philosophy of Natural and Social Science de la London School of Economics and Political Science, el Departamento de Filosofía I de la Universidad de Granada, el Departamento de Filosofía de la Universidad de Málaga, y el Centre d'Histoire des Philosophies Modernes de la Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne. Áreas de interés: metafísica y epistemología de la ciencia.

2 Ingeniera en electrónica, licenciada y doctora en filosofía, Universidad de Buenos Aires. Investigadora superior de CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas). Miembro Correspondiente de la Academie Internationale de Philosophie des Sciences. Honorary Fellow del John Bell Institute for the Foundations of Physics. Miembro del Foundational Questions Institute. Associate Researcher del Centre for Philosophy of Natural and Social Science of the London School of Economics and Political Science. Editora asociada de Foundations of Physics, Foundations of Chemistry y Philosophy of Physics.

Resumen

En este trabajo, proponemos un marco metafísico naturalista para una variante del posibilismo basada en una concepción bilocalizada de la modalidad. Luego de revisar problemas característicos de posiciones alternativas, exploramos la aplicación de este marco al caso de la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica. Finalmente, revisamos problemas previos a la luz de esta nueva propuesta.

Palabras clave: modalidad, posibilismo, leyes de la naturaleza, interpretación modal-hamiltoniana.

Abstract

In this paper, we propose a naturalistic metaphysical framework for a variant of possibilism based on a bi-localized conception of modality. After reviewing characteristic problems of alternative positions, we explore the application of this framework to the case of the Modal-Hamiltonian Interpretation of quantum mechanics. Finally, we revisit previous problems in light of this new proposal.

Keywords: Modality, possibilism, laws of nature, Modal-Hamiltonian Interpretation.

1. Introducción

La reflexión filosófica sobre la noción de posibilidad hunde sus raíces en la antigüedad. El punto central de dicha reflexión reside en la existencia de los *possibilia*, es decir, en si deben admitirse en la ontología posibilidades no actualizadas. La intuición de que ese es el caso puede encontrarse, por ejemplo, en Filón de Alejandría (de acuerdo con el comentario de Alejandro de Afrodisias), quien sostiene que debe considerarse posible que un poco de paja se queme incluso cuando se encuentra en el fondo del océano (Denyer, 1998). Ello contrasta con las ideas de Diodoro Cronos; en palabras de Cicerón, "Diodoro define lo posible como aquello que es o ser" (cit. en Kneale y Kneale, 1962, p. 117). La posición de Diodoro expone la extendida intuición que reúne a los defensores del actualismo: todo lo que existe es actual y la posibilidad se reduce o debe explicarse a partir de lo actual.

En la Edad Media, filósofos como Avicena sugirieron que las cosas no-existentes podrían contar como *possibilia*:

> Es necesario, con respecto a todo lo que llegó a existir, que antes de que llegara a existir, fuera en sí mismo posiblemente existente. Porque si no hubiera sido posiblemente existente en sí mismo, nunca existiría en absoluto. Además, la posibilidad de su existencia no consiste en el hecho de que un agente pudiera producirlo o que un agente tuviera poder sobre ello. De hecho, un agente difícilmente tendría poder sobre ello, si la cosa misma no fuera posible en sí misma. (Avicenna 1926, p. 54-56; Traducción de M. Adams, 1987, p. 1068, de *Avicena* 1926, Libro I, Parte 2, Tractatus 6)

Hoy, si bien el actualismo es por lejos la posición dominante en la bibliografía, se reconocen dos motivaciones principales para el posibilismo. La primera es semántica: el posibilismo provee una semántica unificada para el discurso modal, que brinda condiciones de verdad homogéneas para una diversidad de enunciados modales. La segunda es lógica: el posibilismo surge como una consecuencia de la lógica modal cuantificada más natural. En particular, en esa lógica, un enunciado como "es posible que haya alguien que sea el rey de Francia" tiene como consecuencia lógica que "existe alguien (o algo) tal que, posiblemente, es el rey de Francia" (Menzel, 2024). En el presente artículo nos proponemos ofrecer una motivación adicional de corte naturalista para el posibilismo. Presentamos el marco para una alternativa posibilista informada por la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica que reconoce un modo de existencia particular a los possibilia y caracteriza la modalidad como un fenómeno bilocalizado en el dominio de lo actual y lo posible

A la luz de este objetivo, el artículo se organiza del siguiente modo: en la sección 2 presentaremos un panorama general sobre las discusiones contemporáneas en torno al posibilismo, que motiva la formulación de nuestra propuesta a partir del análisis de posiciones vigentes en el debate. En ese contexto, presentaremos las principales alternativas posibilistas que sostienen un realismo irreductible sobre modalidad; tales alternativas defienden una visión monolocalizada de la modalidad, que la asienta en un único lugar o categoría ontológica. Asimismo, revisaremos algunos de sus principales problemas. Ese análisis motiva la formulación, en la sección 3, de un marco naturalista que adjudica a la modalidad una naturaleza bilocalizada. En la sección 4 presentaremos los fundamentos de la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica. Esta interpretación asigna un papel esencial al hamiltoniano de un sistema cerrado, definiendo los observables del sistema que adquieren valor definido y ofreciendo una solución al problema de la medición tanto en su versión ideal como en su versión no ideal. Además, exploraremos la imagen ontológica que subyace a esta interpretación a la luz de la propuesta esbozada en la sección 3. En la sección 5, presentaremos la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica como un caso de aplicación de nuestro marco: una posibilidad posibilista bilocalizada. Esta posibilidad irreductible aparece en dos

niveles, uno determinista y otro indeterminista, y se estructura en la interacción de estos dos niveles de posibilidad en la ontología cuántica. Por último, en la sección 6 revisitamos algunos de los problemas mencionados en la sección 2 a la luz de nuestra propuesta.

2. Un panorama ontológico acerca de la modalidad

El debate contemporáneo entre posibilistas y actualistas debe mucho de su forma a los planteos de Quine, quien expresa la doctrina posibilista en la voz de un personaje ficticio, Wyman. Según este personaje, los entes posibles no actualizados, como Pegaso, tienen existencia en el sentido de ser posibles, aunque no posean el "atributo especial de la actualidad". Decir que Pegaso no existe significa, más precisamente, que Pegaso no tiene esta característica de actualidad, similar a decir que el Partenón no es rojo; en ambos casos, estamos hablando de una entidad cuya existencia no se cuestiona. Según Wyman, ser un mero posible significa ser no actualizado, es decir, existir en un sentido diferente al de tener actualidad. Quine denomina subsistencia a ese modo de ser (Quine, 1948, pp. 22-23).

La distinción entre existencia y subsistencia brinda al posibilismo su forma más común en la actualidad, un bimodalismo que reserva un modo de ser real para las entidades concretas o las posibilidades realizadas, y otro para los *possibilia* (esta idea puede rastrearse hasta los estoicos, cf. de Harven 2015, p. 406). No obstante, Menzel (2024) señala que el bimodalismo no es esencial al debate. El posibilismo, argumenta, es la doctrina que acepta que hay *possibilia*, pero estos pueden ser definidos sin apelación a una modalidad específica del ser. Las posibilidades no realizadas pueden ser entendidas simplemente como entidades contingentemente no concretas, es decir, entidades que podrían ser concretas pero no lo son. El actualismo, por su parte, puede ser definido simplemente como la negación del posibilismo, esto es, como la negación de la tesis de que hay *possibilia*, con independencia de cómo se los defina. En tal sentido, ambas posiciones pueden ser trazadas sin aludir a modalidades de ser.

Lo anterior permite ver que la disputa es eminentemente ontológica, se trata en definitiva de la afirmación, negación o escepticismo respecto de la existencia de *possibilia*. No obstante, la motivación principal para este debate es semántica. El posibilismo, como hemos señalado, a pesar de ser la posición menos extendida, ofrece como ventajas una semántica unificada para el discurso modal y una cohesión conceptual con los resultados de la lógica modal. En el aspecto semántico, los *possibilia* constituyen una clase homogénea de hacedores de verdad para las proposiciones modales. El actualismo, por su parte, tiene que valerse de algún recurso adicional

para dar cuenta de las condiciones de verdad de dichas proposiciones. El camino más frecuente en la bibliografía es adoptar una semántica de mundos posibles, inspirada en los trabajos fundacionales de Kripke (1959, 1972) y Lewis (1986). La semántica de mundos posibles ofrece una semántica formal extensional para las nociones del tipo intensional de posibilidad y necesidad que, por fuera de este análisis, pueden resultar opacas. Así, la posibilidad es entendida como verdad en algún mundo posible y la necesidad como verdad en todos los mundos posibles. Esa idea parece capturar intuiciones profundas sobre la naturaleza de la modalidad y el significado de nuestro discurso modal sin comprometerse, en principio, con la existencia de *possibilia*.

No obstante, el aparato semántico no implica una posición ontológica unívoca y es, por tanto, compatible con el posibilismo y con el actualismo, debido a que la semántica, por sí sola, no responde la pregunta acerca de la naturaleza de los mundos posibles. Las opciones al respecto son variadas e incluyen, entre otras, el concretismo (Lewis, 1986), que considera que los mundos posibles son entidades concretas reales, el ficcionalismo, según el cual los enunciados sobre mundos posibles deben ser tratados análogamente a los enunciados acerca de obras de ficción (Rosen, 1990), y el extendido ersatzismo que, en sus diversas variantes, considera que el discurso acerca de mundos posibles refiere a objetos *ersatz* que funcionan como sustitutos o proxies de mundos posibles, en lugar de mundos verdaderamente existentes en sí mismos (Plantinga, 1972; Creswell, 1972; Parsons, 1980; Stalnaker, 1984). En cualquier caso, más allá de cómo se conciba la naturaleza de los mundos posibles, la modalidad, como fenómeno metafísico, no se ubica en nuestro mundo actual, sino que se externaliza o delega a la totalidad de dichos mundos. En otras palabras, los hacedores de verdad de los enunciados modales están 'fuera' del mundo actual.

Sin embargo, esa no es la única posibilidad. Los hacedores de verdad pueden no ser sustitutos o alternativas a nuestro mundo actual, sino auténticos *possibilia* localizados en él. Por otra parte, esos hacedores de verdad locales pueden o no ser entidades irreductiblemente modales, es decir, pueden o no ser reducibles a otras entidades no-modales. 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.

El segundo aspecto es importante, pues, según diversas versiones del ersatzismo (e.g. combinatorialismo), los mundos posibles son entidades abstractas. No hay entonces, en sentido estricto, otros mundos posibles concretos como el nuestro, sino que esos mundos posibles abstractos pertenecen después de todo, junto a otras entidades abstractas, a nuestro mundo. No obstante, a pesar de que dichos hacedores de verdad del discurso modal son locales en el sentido referido en (i), no cumplen con (ii), en tanto no se trata de entidades irreductiblemente modales,

sino de entidades abstractas no-modales que de algún modo (e.g. recombinación de partes de nuestro mundo actual) constituyen variantes del mundo actual concreto. Vale destacar, además, que (ii) distingue lo que denominamos localismo modal de otras formas de posibilismo que fundan los *possibilia* en aspectos no-modales del mundo actual o de otros mundos concretos constituidos por entidades no-modales.

Para quien sostenga alguna forma de localismo modal se presenta un problema ulterior referido a la 'ubicación' de la modalidad, que 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. Vetter describe esta cuestión del siguiente modo:

> Todo aquel que no niegue la existencia de hechos modalmente cargados acerca del mundo, o los externalice a otros mundos reales, es decir, todo aquel que piense que los enunciados contrafácticos o los enunciados legaliformes que soportan contrafácticos son verdaderos en virtud de algo en el mundo actual, tiene que incluir posibilidades no realizadas en la actualidad. (Vetter, 2009, p. 6).

El problema es, entonces, dónde situar esta modalidad; o, alternativamente, ¿qué es ese algo en el mundo actual en virtud del cual los enunciados contrafácticos o los enunciados legaliformes que soportan contrafácticos son verdaderos?

De modo mayormente implícito, este problema se discutió en los debates sobre el estatus metafísico de las leyes de la naturaleza. El punto central en esas discusiones es cómo se fundamentan metafísicamente las regularidades naturales capturadas por las leyes científicas. Para tal fin resulta central la posibilidad de hacer una distinción entre auténticas leyes y meras generalizaciones accidentales, es decir, entre enunciados legaliformes cuyas propiedades lógico-sintácticas son idénticas pero que difieren en su posibilidad de respaldar contrafácticos. Quienes sostienen posiciones anti-humeanas respecto de las leyes, fundan esa distinción en una diferencia en los hacedores de verdad de ambos tipos de enunciados. Mientras que las generalizaciones accidentales son verdaderas en virtud de meras regularidades o irregularidades aparentes, las auténticas leyes lo son en virtud de entidades irreductiblemente modales. En este terreno, hay cuatro posiciones principales en la bibliografía sobre el tema: las teorías de gobierno, el primitivismo, el disposicionalismo y el realismo estructural óntico. Cada una de ellas brinda una respuesta diferente al problema del emplazamiento, ubicando la modalidad en un aspecto particular de la ontología.

2.1. Universales

Las teorías de gobierno se identifican, fundamentalmente, con la posición defendida por Dretske (1977), Tooley (1977) y Armstrong (1983), conocida como DTA. La DTA afirma que las leyes son universales de segundo orden que gobiernan sus instancias. Los universales de segundo orden en la DTA son entidades metafísicas que establecen relaciones de necesitación entre universales de primer orden (propiedades y relaciones específicas). Por ejemplo, una ley de la naturaleza es un universal de segundo orden N instanciado en dos universales de primer orden F y G, en la notación usual, $N(F,G)$. Esto implica que siempre que un particular tenga la propiedad F, necesariamente tendrá la propiedad G. En otros términos, la ley implica que los estados de cosas en los que F se instancia en un particular hacen necesarios estados de cosas en los que G se instancia en un particular, en virtud de la relación de necesitación N entre los universales F y G.

Según Armstrong, este enfoque debe alinearse con un naturalismo según el cual toda propiedad debe ser, al menos en principio, cognoscible por medio de la investigación empírica. En tal sentido, su teoría subyacente de los universales es aristotélica. Sin embargo, Tooley se aparta de esta visión al adoptar una concepción platónica de los universales, permitiendo la existencia de leyes no instanciadas, lo que implica que algunas leyes pueden existir independientemente de que tengan instancias en el mundo. En ambos casos, no obstante, la modalidad está emplazada en los universales de segundo orden, es decir, esta relación de necesitación que, instanciada en universales de primer orden, impone necesidad y posibilidad a los eventos naturales.

2.2. Leyes

Para el primitivismo (Carroll, 1994; Maudlin, 2007; Chen y Goldstein; 2022), las leyes deben ser tomadas como ontológicamente primitivas. Así entendidas, las leyes determinan patrones regulares de evolución de los sistemas físicos. En tal sentido, las leyes gobiernan el mundo natural, o al menos regiones específicas del mundo (cf. Maudlin, 2007, p. 14), por lo que el primitivismo se alinea en este punto con las teorías de gobierno. Su carácter primitivo, no obstante, hace que la noción de ley no pueda ser analizada en términos de otras nociones, y eso incluye nociones modales. Ese aspecto hace problemático determinar, según nuestros propósitos, cuál es para esta posición el asiento de la modalidad, puesto que decir de las leyes que son intrínsecamente modales o que están modalmente cargadas sería equivalente a abandonar el primitivismo. Lo mismo ocurre, por supuesto, con las afirmaciones

contrarias, en tanto tampoco es posible caracterizar las leyes como entidades no-modales. Hay, sin embargo, dos razones por las que cabe pensar que estas leyes primitivas son, al menos en un sentido derivativo, el asiento de la modalidad. En primer lugar, las leyes fundan la posibilidad y necesidad física o nomológica, las leyes son los patrones que la naturaleza respeta; lo que es físicamente posible porque permiten las restricciones impuestas por esos patrones (cf. Maudlin 2007, p. 15). En segundo lugar, las leyes, en tanto parte del mobiliario del mundo, funcionan como hacedores de verdad de las leyes científicas, es decir, de los enunciados legaliformes que respaldan contrafácticos. Como observa Hildebrand,

> La locución 'es una ley que' funciona como un operador modal axiomatizado de la siguiente manera: necesariamente, para todas las afirmaciones p, 'es una ley que p' implica p. Una ley primitiva, entonces, es simplemente una entidad primitiva que hace verdadera el enunciado de la ley. (Hildebrand 2023, p. 32)

Si bien, en sentido estricto, por su propia naturaleza las leyes primitivas no pueden ser analizadas en términos de nociones modales, la modalidad se sitúa en ellas en sentido derivativo: las leyes son el fundamento de la posibilidad y la necesidad físicas y son los hacedores de verdad de los enunciados legales.

2.3. Disposiciones

La teoría DTA adhiere a una concepción categorialista de las propiedades, según la cual la esencia de una propiedad va más allá de su perfil causal; es decir, una propiedad no se individua solo por lo que hace o puede hacer. En contraste, según el disposicionalismo la identidad de una propiedad está completamente determinada por su perfil causal. Las disposiciones, de ese modo, son reales en tanto potencias, incluso si por hipótesis nunca fuera a manifestarse. Existen versiones mixtas de disposicionalismo, como las defendidas por Ellis (2001) y Molnar (2003), que sostienen que no todas las propiedades fundamentales son esencialmente disposicionales. Por su parte, el monismo disposicional propuesto por Bird (2007) y Mumford (2004) afirma que todas las propiedades naturales fundamentales son inherentemente disposicionales.

El disposicionalismo explica metafísicamente la regularidad natural mediante la postulación de disposiciones o poderes, lo que no necesariamente implica un compromiso con la existencia de leyes. Mientras que el esencialismo disposicional de Bird (2007) sugiere que las propiedades naturales tienen esencias disposicionales sobre las que superviene la estructura nomológica del mundo, el

realismo sin leyes de Mumford (2004) elimina las leyes como categoría ontológica. Mumford argumenta que no es necesario postular leyes naturales para explicar las regularidades y las relaciones de necesitación. Las disposiciones son entidades intrínsecamente modales, autogobernantes, capaces de cumplir el rol explicativo adjudicado a las leyes. En cualquier caso, el disposicionalismo ubica la modalidad en las propiedades disposicionales de primer orden.

2.4. Estructuras físicas

French (2014) argumenta que el disposicionalismo es incapaz de proporcionar una caracterización disposicional de los principios de simetría, cruciales en la física contemporánea. Según French, los principios de simetría y las leyes de conservación imponen restricciones a las leyes dinámicas estándar, creando un problema para el disposicionalismo, que no puede acomodar dichas restricciones, porque sugiere que las leyes deben su necesidad a las propiedades disposicionales subyacentes. La importancia de las simetrías en la física moderna convierte esta conclusión en una posible refutación del disposicionalismo (French, 2014, p. 249). French propone el *realismo estructural óntico* como solución. El rasgo central de esta posición consiste en abandonar la categoría de *individuo* o *propiedad* como categoría ontológica fundamental en favor de la de *estructuras físicas* (véase Borge, 2017; Borge y Soto, en prensa). Esta visión sugiere que las leyes y simetrías descritas por la física son aspectos fundamentales de la estructura del mundo y tienen primacía ontológica (French, 2014, p. 231, 257). No son las propiedades o relaciones las que portan la modalidad, sino las leyes y las simetrías. En esta perspectiva, la modalidad se asienta sobre las leyes y simetrías mismas (French, 2014, p. 17).

2.5. Problemas y objeciones

Cada una de estas posiciones ha sido formulada en diferentes variantes que han enfrentado problemas y objeciones específicas. A su vez, algunas de esas dificultades han motivado una variedad de argumentos y contraargumentos que han definido nuevos campos de debate. A los efectos de este trabajo, es suficiente revisar a grandes rasgos una serie de problemas muy generales con los que las posiciones localistas deben lidiar.

- *Efectividad*. Incluso cuando se acepte que existen entidades esencialmente modales, las posiciones localistas deben ofrecer un relato plausible acerca de cómo dichas entidades son modalmente efectivas, es decir, cómo de hecho producen cambios en el mundo. Este problema se ha señalado especialmente en relación con el disposicionalismo (cf. Armstrong, 1997) y el estructuralismo (cf. Psillos, 2006; Busch, 2003).
- *Leyes no instanciadas*. Si la ocurrencia de las condiciones iniciales de un fenómeno físico es contingente, la posibilidad de que existan leyes que no tienen instancias en nuestro mundo resulta plausible, y es un aspecto del que las teorías realistas sobre las leyes deberían dar cuenta (cf. Tooley, 1977). Si se comparte esa intuición, algunas de las teorías localistas revisadas encuentran dificultades. El disposicionalismo (cf. Borge, 2015) y las teorías de gobierno (cf. Brown, 2002) han lidiado con este problema.
- *Simetrías*. Los principios de simetría ocupan un lugar central en la física moderna y tienen, según muchas interpretaciones, un rol determinante respecto de las leyes ordinarias (cf. Borge y López, 2023). Ello justifica, en posiciones radicales, asumir un compromiso ontológico con las simetrías y considerarlas como las entidades fundamentales de la realidad (cf. French, 2014; Schroeren, 2020). Más allá de esas controversias, es claro que una posición localista acerca de la modalidad que persigue objetivos naturalistas debe incluir las simetrías de algún modo. El disposicionalismo y las teorías de gobierno han enfrentado objeciones en cuanto a su capacidad de encontrar un papel para las simetrías correspondiente a su importancia en la física moderna.

El modo preciso en que estos problemas se articulan respecto de cada una de las alternativas localistas presentadas y las eventuales estrategias de solución exceden los límites de este artículo. Pero cabe destacar un compromiso implícito común a dichas alternativas que, plausiblemente, se relaciona con el surgimiento de los problemas mencionados. 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 monolocalizada en estas teorías. Si bien este rasgo es notorio, su relación con cada uno de los problemas mencionados requeriría argumentos específicos, nos bastará con mostrar que una alternativa localista que cuestione ese supuesto común está en mejores condiciones para enfrentar o evitar esos problemas. En el siguiente apartado presentaremos brevemente las bases de una versión del localismo modal en la que la modalidad está bilocalizada.

3. Modalidad bilocalizada

Nuestra propuesta presenta el marco para una alternativa genuina a las versiones del localismo revisadas en el apartado precedente. La innovación conceptual que introduce en el debate no solo procura presentar una solución armónica a problemas conocidos. La formulación de toda la posición está informada, como veremos en detalle en la sección siguiente, por la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica, por lo que encuentra allí soporte adicional en una base naturalista. En general, la propuesta es naturalista en un sentido más amplio: no solo su concepción acerca de la naturaleza de lo modal está científicamente informada, sino que la determinación de qué hechos son posibles y qué hechos son actuales debe descansar sobre el análisis de nuestra mejor ciencia en general, y de teorías científicas específicas y sus dominios de aplicación en particular. Comencemos definiendo el mobiliario ontológico de la propuesta.

Conceptualmente, el corazón de este marco reside en la articulación de la modalidad bilocalizada. Desde esta perspectiva, la realidad está dividida en dos dominios: el dominio de lo actual y el de lo posible, constituido por *possibilia* 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 ontológica, sino que consideramos, en cambio, que el fenómeno modal es el resultado del interjuego del dominio de lo actual y el de lo posible.

Sobre la base de la modalidad bilocalizada, nuestra propuesta se asienta en una ontología de propiedades. Es central, a su vez, la distinción entre determinables y determinados. En pocas palabras, los determinables y los determinados son propiedades que mantienen una relación única de especificación llamada ‘determinación’. Un ejemplo típico es el color, que es un determinable con tonalidades específicas como el rojo o el azul que actúan como sus determinados. Dado que los determinables pueden tener diferentes niveles de especificación, la clasificación de una propiedad como determinable o determinado es relativa. Por ejemplo, el rojo es un determinado en relación al color, pero es un determinable en relación al escarlata. La distinción entre determinables y determinados se corresponde a la de propiedades-tipo y propiedades-caso que, por cuestiones de unidad terminológica con la sección siguiente continuaremos usando de aquí en más.

Una segunda novedad conceptual es una distinción entre realización y actualización. Habitualmente, las propiedades-tipo son instanciadas o ejemplificadas en sus propiedades-caso, y eso equivale a tener instancias o ejemplificaciones actuales (cf. Hale, 1987; Wetzel, 2002). Según nuestra propuesta, una propiedad-tipo puede estar instanciada o ejemplificada 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 una propiedad-tipo en el dominio de lo actual, mientras que un hecho posible corresponde a la instanciación de una propiedad-caso en el dominio de lo posible.

Un rasgo que esta imagen ontológica toma directamente de la interpretación modal-hamiltoniana es el hecho de que una propiedad-tipo puede instanciarse en el mundo real sin que ello implique que adquiera un valor específico mediante la instanciación o ejemplificación de una propiedad-caso determinada. Esto permite una distinción adicional entre dos tipos cualitativamente distintos de posibilidad. Por una parte, la posibilidad de que una propiedad-tipo se instancie y, por otra, la posibilidad de que adquiera algún valor específico. Por último, el marco incluye en el dominio de lo posible propensiones ontológicas a la actualización en la forma de propiedades de segundo orden que determinan los valores específicos que pueden adquirir las propiedades-tipo que actualizan. O, en otras palabras, las propensiones de actualización de los hechos posibles de la ontología.

Este marco permite identificar los factores que en el dominio de lo actual y de lo posible determinan, mediante su interjuego, la modalidad como un fenómeno complejo. La naturaleza general y orientada hacia las teorías del marco hace que la identificación de dichos factores dependa del contexto particular de análisis. Rasgos estructurales adjudicados al dominio de lo actual (e.g. su estructura nomológica o las simetrías que dicha estructura respeta) pueden delimitar patrones de instanciación de propiedades-tipo, mientras que aspectos disposicionales en el plano de lo posible pueden determinar patrones de ejemplificación de propiedades-caso. Nuevamente, el espíritu naturalista de la propuesta hace que optemos por un enfoque relativo a las teorías. Es decir, un enfoque en el que la identificación de dichos aspectos que en el dominio de lo actual y en el dominio de lo posible constituyen la articulación del fenómeno modal queda supeditada al análisis de teorías científicas y su interpretación ontológica.

En la sección siguiente exploramos el caso de la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica.

4. La interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica

La interpretación modal-hamiltoniana (MHI: Modal-Hamiltonian Interpretation) de la mecánica cuántica (Lombardi y Castagnino, 2008) pertenece a la familia de las interpretaciones modales: al igual que los otros miembros de la familia, es un enfoque realista, sin colapso, según el cual el estado cuántico describe las propiedades posibles del sistema cuántico pero no sus propiedades actuales (Lombardi y Dieks, 2024). La particularidad de la MHI es que adjudica al hamiltoniano H de un sistema

cerrado un papel esencial: definir los observables del sistema que adquieren valor definido. Esta interpretación brinda una solución al problema de medición, tanto en su versión ideal (cuando la interacción entre el sistema a medir y el aparato de medición introduce una correlación perfecta entre los valores de los observables de los dos sistemas) como en su versión no ideal (cuando la correlación no es perfecta). Además, se ha aplicado a varias situaciones físicas bien conocidas, con resultados consistentes con la evidencia empírica. También se ha formulado una versión de la interpretación invariante frente al grupo de Galileo (Ardenghi, Castagnino y Lombardi, 2009; Lombardi, Castagnino y Ardenghi, 2010). Más recientemente, sus aplicaciones se han ampliado para dar cuenta de otras situaciones, como la explicación de mediciones consecutivas sin apelar al colapso (Ardenghi, Lombardi y Narvaja 2013) y el problema del isomerismo óptico en química (Fortin, Lombardi y Martínez González 2018). Sin embargo, aquí no nos ocuparemos de estas cuestiones más ligadas a la física, sino de la imagen ontológica que propone la interpretación.

Siguiendo la idea wittgensteiniana de que la estructura del lenguaje es también la estructura de la realidad, esta última se manifiesta estableciendo la contraparte ontológica del formalismo cuántico, es decir, proporcionando una interpretación para cada término físico/matemático (cf. Da Costa, Lombardi y Lastiri, 2013; Da Costa y Lombardi, 2014).

- El término observable se utiliza en física cuántica para referirse a ciertas magnitudes cuantificables de relevancia física, las que se representan matemáticamente mediante operadores hermíticos. Ontológicamente, corresponden a elementos pertenecientes a la categoría de propiedad, en particular, a propiedades determinables que aquí denominaremos 'propiedades-tipo'. Además, es necesario distinguir entre propiedades-tipo universales (propiedades-tipo-U) e instancias de propiedades-tipo universales (propiedades-tipo-I). Las contrapartidas ontológicas de las magnitudes físicas son propiedades-tipo-U, y las de los observables son propiedades-tipo-I. Simbolizaremos una propiedad-tipo-U como $[A]$, y sus propiedades-tipo-I como $[A^i]$. Un ejemplo de propiedad de tipo U es la energía $[H]$, que puede instanciarse como la energía $[H^1]$ de *este* sistema en particular. Destaquemos que, aunque este modo de hablar sugiere una ontología de objetos, a continuación definiremos el concepto de sistema cuántico como un ítem ontológico no objetual.
- Dado que un observable es una magnitud física cuantificable, tiene distintos valores posibles, que se representan matemáticamente mediante los autovalores del operador hermítico correspondiente. Sus contrapartidas ontológicas son propiedades determinadas que aquí denominaremos 'propiedades-caso posibles' (propiedades-caso-P) de la propiedad-tipo-I correspondiente. Dada

una propiedad-tipo-I $[A^1]$ de una propiedad-tipo-U $[A]$, sus propiedades-caso-P se simbolizarán como $[a^1_j]$. Siguiendo con el ejemplo anterior, podemos hablar de las propiedades-caso-P $[\omega^1_j]$ (los valores de energía que constituyen el espectro de energía) de la energía $[H^1]$ de este sistema particular, donde $[H^1]$ es una propiedad-tipo-I de la propiedad-tipo-U energía$[H]$.

- En física se asume implícitamente que cada observable, aunque tenga múltiples valores posibles, no puede tener más de un valor a la vez. El valor actual que adquiere un observable no tiene representación matemática directa en la teoría: no hay manera formal de distinguirlo de los restantes valores posibles. Pero, ontológicamente, es esencial subrayar que, dada una propiedad-tipo-I $[A^1]$ de una propiedad-tipo-U $[A]$, no más de una de sus propiedades-caso-P se convierte en actual. Esa propiedad-caso actual (propiedad-caso-A) se simbolizará como $[a^1_k]$. En el ejemplo anterior, $[\omega^1_k]$ es el valor actual de la energía $[H^1]$ de este sistema particular. Obsérvese que la cláusula "no más de uno", que corresponde a "exactamente uno" en el caso clásico, puede ser "cero" en el caso cuántico. Este aspecto quedará claro más abajo, cuando se introduzca el teorema de Kochen y Specker.
- La MHI adopta el enfoque algebraico como formalismo para la mecánica cuántica. En dicho formalismo el concepto físico de sistema cuántico S^1 se representa matemáticamente mediante un álgebra de observables, cuya contrapartida ontológica es un *haz* $\mathsf{B} = \{[A^1], [B^1], [C^1], K\}$ de propiedades-tipo-I $[A^1]$, $[B^1]$, $[C^1]$, K correspondientes a las propiedades-tipo-U $[A^1]$, $[B^1]$, $[C^1]$, K. Como veremos más abajo, estos haces no pueden interpretarse en términos de la teoría del haz tradicional.
- El concepto físico de estado cuántico se representa matemáticamente mediante un funcional sobre el espacio de observables. En este marco interpretativo los estados no refieren a propiedades, sino que están dotados de una naturaleza probabilística. Más concretamente, el estado cuántico de un sistema codifica las propensiones ontológicas a la actualización de todas las propiedades-tipo-P de todas las propiedades-tipo-I pertenecientes al haz B^1, que es la contrapartida ontológica del sistema B^1.

El teorema de Kochen y Specker (1967) constituye un obstáculo para cualquier interpretación realista tradicional de la mecánica cuántica, ya que 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 tradicional principio de determinación omnímoda, según el que todo determinable está siempre determinado: mientras que el principio se cumple en los sistemas clásicos, en el dominio cuántico todo sistema posee

determinables que no se encuentran determinados. En los términos ontológicos de la MHI, en cualquier haz cuántico, no todas las propiedades-tipo-I tienen una propiedad-caso-A. De allí que, dada una propiedad-tipo-I, no más de una de sus propiedades-caso-P se convierte en actual.

El teorema de Kochen y Specker tiene importantes consecuencias para la noción de sistema cuántico, que no se define mediante la teoría del haz tradicional, diseñada bajo el paradigma de la categoría clásica de individuo:

- Según las versiones tradicionales de la teoría del haz, un objeto es la confluencia de ciertas propiedades determinadas, bajo el supuesto de que todas las propiedades determinables están determinadas. Por ejemplo, una bola de billar es el haz de un valor determinado de posición, digamos aquí, una forma determinada, digamos redonda, un color determinado, digamos blanco, etc. En otras palabras, las propiedades que componen el haz son propiedades actuales. En el caso cuántico, por el contrario, no todas las propiedades determinables en un sistema están determinadas; en consecuencia, el sistema no puede identificarse con un haz de propiedades determinadas. Por esta razón, en el marco de la MHI un sistema cuántico se concibe como un haz de determinables, es decir, propiedades-tipo (propiedades-tipo-I), cada una de ellas con sus propiedades-caso posibles (propiedades-caso-P).
- Por otro lado, en sus versiones tradicionales, la teoría del haz es una teoría sobre objetos, según la cual los objetos están compuestos de elementos de una categoría ontológica diferente (a saber, propiedades): la teoría está diseñada para dar cuenta de los objetos sin apelar a un sustrato en el que las propiedades inhieren (cf., por ejemplo, O'Leary-Hawthorne, 1995; French, 2019). Con este fin, algunas propiedades deben seleccionarse para desempeñar el papel del principio que proporciona al objeto identidad sincrónica y diacrónica. El punto de vista de los haces cuánticos propuesto por la MHI, por el contrario, prescinde completamente de la categoría ontológica de objeto: los haces de propiedades no se comportan como objetos en absoluto, ya que pertenecen a una categoría ontológica diferente. Por ello, no se los puede identificar sincrónicamente mediante un nombre o etiqueta, no se los puede identificar diacrónicamente mediante una trayectoria espacio-temporal. Por otra parte, cuando dos sistemas-haces se combinan, el sistema compuesto es también un haz; y en el sistema compuesto no se preserva la identidad de sus componentes, precisamente porque no son objetos en absoluto. En consecuencia, en el marco de la MHI los sistemas cuánticos se conciben como haces de propiedades no-objetuales.

Precisamente por su naturaleza no-objetual, los sistemas-haces requieren un tipo de lógica diferente de la tradicional. Una imagen ontológica en la que las propiedades son los ítems elementales y no constituyen objetos no es capturada adecuadamente por ninguna teoría formal cuyos símbolos elementales sean variables individuales referidas a objetos clásicos. El problema es que la mayoría de los sistemas lógicos están diseñados para manipular objetos individuales. Una salida a este problema es desarrollar una "lógica de predicados" en el espíritu del "cálculo de relaciones" propuesto por Tarski (1941), en el que las constantes y variables individuales están ausentes. Una estrategia diferente consiste en aplicar la teoría de cuasiconjuntos (cf. Krause 1992, da Costa y Krause 1999): aunque se ideó 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 haces resultan estar representados por cuasiconjuntos de propiedades (cf. Holik, Krause y Lombardi 2022).

Puesto que, por el teorema de Kochen y Specker, no todos los observables adquieren valores actuales definidos, la actualización debe restringirse de algún modo: es necesario determinar el contexto privilegiado, esto es, el conjunto de los observables que adquieren valores actuales definidos. La MHI se inspira en la máxima latina clásica *Ubi lex non distinguit, nec nos distinguere debemus*: donde la ley no distingue, tampoco debemos distinguir nosotros. La ley dinámica de la mecánica cuántica está representada por la ecuación de Schrödinger, según la cual la evolución del estado cuántico de un sistema viene determinada por su hamiltoniano. Sobre esta base, para la MHI es el hamiltoniano del sistema, con sus simetrías, el que rige la actualización; en consecuencia, ningún observable cuyos autovalores distinguirían entre autovectores correspondientes a un único autovalor degenerado del hamiltoniano debe adquirir valores definidos, ya que la actualización de algún valor de tal observable introduciría en el sistema una asimetría no contenida en el hamiltoniano. En términos precisos, la MHI formula la siguiente regla (cf. Lombardi y Castagnino 2008):

> *Regla de actualización*: Dado un sistema cuántico S^1, los observables de S^1 que adquieren valor definido son el hamiltoniano H^1, y los observables que conmutan con H^1 y que tienen, al menos, las mismas simetrías que H^1, es decir, aquellos observables que conmutan con H^1 y que no rompen sus simetrías.

En términos ontológicos puede decirse que es la propiedad-tipo-I [H^1] del haz B^1 la que determina el contexto preferido de las propiedad-tipo-I que adquieren una propiedad-caso-A entre todas sus propiedades-caso-P. Por supuesto, en el contexto privilegiado se podría insistir en la idea clásica de propiedades-tipo con

sus propiedades-caso actuales sin contradicción. Pero apenas se intenta extender esta imagen ontológica a todos las propiedades-tipo que constituyen el sistema, el teorema de Kochen y Specker impone una barrera infranqueable: no es posible atribuir propiedades-caso-A a todas las propiedades-tipo-I de manera no contradictoria. Por tanto, la idea clásica de un haz de propiedades actuales constituyendo un individuo no funciona en la ontología cuántica.

5. Una posibilidad posibilista bilocalizada

La presentación de la sección anterior pone de manifiesto que para la MHI, debido a su naturaleza modal, el formalismo de la mecánica cuántica no determina lo que realmente es el caso, sino que describe posibles eventos con sus correspondientes probabilidades. En los términos ontológicos de la interpretación, una propiedad-tipo-I tiene propiedades-caso-P posibles, entre las cuales a lo sumo una llega a ser actual, y el estado cuántico brinda la medida de las posibilidades correspondientes, es decir, codifica la propensión a la actualización de cada una de las propiedades-caso-P de todas las propiedades-tipo-I que constituyen el sistema. Con diferentes expresiones y distinciones conceptuales, este tipo de posibilidad es la que subyace a la idea de latencias (Margenau, 1954), potencialidades (Heisenberg, 1958), propensiones (Popper, 1959), propensiones (Maxwell, 1988), y propensiones selectivas (Suárez, 2007, véase también 2004ª y 2004b), entre otras. Desde esta perspectiva, las posibilidades nada tienen que ver con una limitación de nuestro conocimiento sobre un estado de cosas actual subyacente: las probabilidades miden posibilidades concebidas como propensiones a la actualización, que son ontológicamente irreductibles, porque la teoría es concebida como irreductiblemente indeterminista (véase Lombardi, Fortin y Pasqualini, 2022).

En el contexto de una interpretación objetiva de la posibilidad, desde un punto de vista metafísico, es importante resaltar la fuerza ontológica en la concepción de la modalidad de la MHI. En efecto, esta interpretación dota a la posibilidad de una interpretación posibilista, no actualista:

> para cada observable que está definidamente valuado, entre todas las posibilidades descritas por la teoría, solo una se actualiza: las posibilidades restantes no llegan a ser actuales, y puede que nunca lleguen a serlo en el sistema particular considerado. (Lombardi y Castagnino, 2008, p. 426)

Si bien las posibilidades y las probabilidades correspondientes no son reducibles a lo actual, no dejan de ser *reales*. En otras palabras, la realidad se

despliega en dos ámbitos: el de lo posible y el de lo actual. A este caso puede aplicarse la sentencia aristotélica sobre el ser: el ser se dice de distintas maneras; en este caso, puede decirse como ser posible o como ser actual, y ninguna de estas maneras puede definirse en términos de la otra. Cuando se admite que la realidad no se agota en la realidad actual, puede afirmarse que la MHI propugna un realismo del vector de estado: el estado cuántico describe la realidad en su dominio de lo posible, no menos real que el de lo actual.

El hecho de que las propensiones pertenezcan al ámbito de la posibilidad no significa que no tengan consecuencias físicas en el ámbito de lo actual. Por el contrario, producen efectos concretos y testeables en la realidad actual aunque nunca lleguen a ser actuales. Una manifestación interesante de estos efectos es el caso de las denominadas 'mediciones sin interacción', en las que se puede detectar la presencia de un sistema cuántico sin interacción alguna entre dicho sistema y el dispositivo de medición. Un caso particular de este tipo de experimentos es el testeador de bombas de Elitzur y Vaidman (Elitzur y Vaidman, 1993): con raíces en el experimento de la doble rendija, en este caso se utilizan posibilidades no actualizadas para probar bombas sin hacerlas explotar. Las mediciones sin interacción constituyen un fuerte argumento en favor del carácter real de las posibilidades concebidas como propensiones.

Respecto del locus de la modalidad abordado en la sección 2, la mayor parte de las posturas metafísicas sobre el tema comparten un mismo supuesto: la idea de que la modalidad adquiere una sola forma y se manifiesta de una única manera. Como fue señalado más arriba, en la ontología propuesta por la MHI las propensiones constituyen un dominio ontológico tan real como el de lo actual y están codificadas en el estado cuántico. Sin embargo, el teorema de Kochen y Specker nos enfrenta a otro nivel de posibilidad, lógicamente anterior al de las propensiones en lo que a la actualización se refiere. En efecto, el teorema afirma que no todos los observables de un sistema cuántico pueden adquirir un valor definido actual simultáneamente. En términos ontológicos, dado un haz, no todas sus propiedades-tipo-I actualizan, es decir, adquieren una propiedad-caso-A entre sus propiedades-caso-P. Esto significa que, dado un haz, todas las propiedades-tipo-I tienen la posibilidad de actualizarse, pero solo algunas de ellas lo hacen. En el marco de la MHI, esta posibilidad, al igual que las propensiones mencionadas antes, también se concibe como una posibilidad posibilista porque no se reduce a la actualidad. Sin embargo, a diferencia de las propensiones, se trata de una posibilidad determinista, ya que la actualización viene determinada por la regla de actualización: es la propiedad-tipo-I representada físicamente por el hamiltoniano del sistema la que fija unívocamente el contexto privilegiado, es decir, el conjunto de las propiedades-tipo-I que actualizan en ese haz.

Alguien podría replicar que este nivel de posibilidad es superfluo, ya que hablar de posibilidad ontológica objetiva en un contexto determinista no tiene sentido. Sin embargo, no hay razones para aceptar este punto de vista. Por ejemplo, el espacio de fases de un sistema clásico representa todos los estados clásicos posibles del sistema, aunque solo uno de ellos sea el actual en un cierto instante. A su vez, varios autores utilizan explícitamente la expresión 'propensión determinista' para referirse a una disposición que actualiza con certeza (cf., por ejemplo, Suárez, 2007; Bigaj, 2014).

No obstante, se podría contraargumentar formulando las siguientes preguntas: si el hamiltoniano determina las propiedades-tipo-I que actualizan, ¿qué papel ontológico juegan las restantes propiedades-tipo-I del haz, es decir, las que no actualizan? ¿Por qué no considerar que, ontológicamente, el sistema cuántico no es más que el haz compuesto exclusivamente por las propiedades-tipo-I que actualizan? Si se tratara de un sistema que permanece aislado eternamente, la sugerencia del crítico podría aceptarse eliminando del haz las propiedades-tipo-I que nunca adquirirán una propiedad-caso-A. Pero, en general, los sistemas cuánticos no permanecen aislados eternamente. Por el contrario, los sistemas interactúan entre sí dando lugar a nuevos sistemas: en términos ontológicos, la interacción entre dos haces da lugar a un nuevo haz. Y ese nuevo haz resultante de la interacción incluye todas las propiedades-tipo-I de los haces originales y también sus combinaciones, independientemente de si actualizaron o no antes de la interacción. La estrategia de 'recortar' los haces eliminando lo que no actualiza no podría explicar la estructura del haz resultante de una interacción, en el que, por ejemplo, algunas propiedades-tipo-I que no se actualizaron en los haces originales pueden adquirir una propiedad-caso-A en el nuevo haz.

En resumen, en el marco ontológico de la MHI, la modalidad involucra una posibilidad posibilista y no está monolocalizada, sino bilocalizada. Esta posibilidad irreductible aparece en dos niveles, uno determinista y otro indeterminista. En el nivel determinista, la regla de actualización basada en el hamiltoniano fija unívocamente el contexto privilegiado, es decir, el conjunto de propiedades-tipo-I del haz que adquieren una porpiedad-caso-A entre todas las que podrían hacerlo. Una vez fijado el contexto privilegiado, para cada propiedad-tipo-I de ese contexto solo una de sus propiedades-caso-P ingresa al dominio de lo actual, y lo hace de forma completamente indeterminista. Es en la interacción de estos dos niveles de posibilidad donde se estructura la modalidad en la ontología cuántica de la MHI.

6. Modalidad bilocalizada: enfrentando las dificultades

En la sección 2 presentamos las principales alternativas en el localismo modal y un esbozo de algunos problemas propios de su articulación. Si bien no atribuimos de modo directo dichos problemas al hecho de la defensa de una modalidad monolocalizada, anticipamos que un marco naturalista que postule una modalidad bilocalizada estaría en mejores condiciones de lidiar con esas dificultades. Habiendo articulado una posibilidad posibilista bilocalizada en el marco de la MHI, a continuación repasamos brevemente los aspectos problemáticos mencionados a la luz de dicha articulación.

- *Efectividad*. Como hemos visto, la MHI sugiere una concepción bilocalizada de la modalidad. Por un lado, la modalidad está anclada en la actualidad, ya que el hamiltoniano siempre actualiza y sus simetrías imponen, por vía de la regla de actualización, restricciones a los observables del sistema que adquieren valores definidos. Pero, por otro lado, la modalidad está anclada en el dominio de la posibilidad, en las propensiones para la actualización codificadas por el estado cuántico. De este modo, el marco de modalidad bilocalizada permite identificar con precisión los elementos que determinan las propiedades-tipo que son actualizadas y las que permanecen como meros *possibilia*.
- *Leyes no instanciadas*. La existencia de leyes que no tienen instancias actuales constituye un problema general de la mayoría de las variantes del localismo modal, pero especialmente para aquellas que buscan construir la modalidad de abajo hacia arriba. Es el caso del disposicionalismo, pero también de las teorías de gobierno que sostienen una concepción aristotélica de los universales. Eso llevó a varios defensores de esta teoría a aceptar universales platónicos de primer y segundo orden (e.g. Tooley, 1977; Brown, 2002; Tugby 2016). Sin embargo, el marco modal que proponemos, inspirado por la MHI, introduce distinciones que permiten lidiar con este problema. La metafísica ortodoxa identifica la instanciación o ejemplificación con la actualidad. Pero, como hemos visto, así como debemos distinguir entre ser determinable y ser actualmente determinado, debemos distinguir el hecho de que un universal esté siendo instanciado en un hecho posible del hecho de que un universal esté siendo instanciado en un hecho actual. De esta manera, una comprensión aristotélica de los universales es compatible con la existencia de universales que no tienen instancias actuales.
- *Simetrías*. El marco modal propuesto asigna un rol modal determinante para las simetrías, vinculado a la regla de actualización. No obstante, por

su concepción bilocalizada de la modalidad, no excluye un rol modal para las propiedades en términos de sus propensiones para la actualización.

7. Comentarios finales

Hemos explorado una motivación naturalista para el posibilismo a través de la interpretación modal-hamiltoniana de la mecánica cuántica. Este enfoque reconoce un modo de existencia particular a los *possibilia* y caracteriza la modalidad como un fenómeno bilocalizado en el dominio de lo actual y lo posible. Al situar la modalidad en una estructura dual, esta propuesta ofrece una alternativa robusta a las posiciones actuales en el debate sobre la ontología de la modalidad, destacando la relevancia de las teorías científicas específicas en la determinación de los hechos posibles y actuales. Asimismo, la aplicación del enfoque al caso de la MHI muestra que la concepción bilocalizada de la modalidad evita diversas dificultades que aparecen en propuestas monolocalizadas.

Referencias

Adams, M. M. (1987). *William Ockham*. University of Notre Dame Press.

Ardenghi, J. S., Castagnino, M., y Lombardi, O. (2009). Quantum mechanics: modal interpretation and Galilean transformations. *Foundations of Physics, 39*, 1023-1045.

Ardenghi, J. S., Lombardi, O., y Narvaja, M. (2013). Modal interpretations and consecutive measurements. En V. Karakostas y D. Dieks (Eds.), *EPSA 2011: Perspectives and Foundational Problems in Philosophy of Science* (pp. 207-217). Springer.

Armstrong, D. M. (1983). *What is a Law of Nature?* Cambridge UP.

Avicenna. (1926). *Avicennae Metaphysics Compendium* (N. Carame, Ed.). Pontifical Institute of Oriental Studies.

Bigaj, T. (2014). Quantum dispositions and the notion of measurement. *Filozofia Nauki*, *22*, 5-24.

Bird, A. (2007). *Nature's Metaphysics: Laws and Properties*. Oxford UP.

Borge, B. (2015). The metaphysical status of Natural Laws: a critique of Stephen Mumford's Nomological Antirealism. *Filosofía Unisinos*, *16*(3), 256-269.

___. (2017). Realismo Estructural Óntico y estructuras físicas. *Manuscrito –Revista Internacional de Filosofía, 40*(2), 71-97. http://dx.doi.org/10.1590/0100-6045.2017.V40N2.BB

Borge, B., y López, C. (2023). Leyes y simetrías en metafísica de la ciencia. *Revista Instante*, *5*(2), 69-99.

Borge, B., y Soto, C. (en prensa). *Ensayos sobre realismo y estructuralismo científicos*. Comares.

Brown, J. R. (2002). *Smoke and mirrors: How science reflects reality*. Routledge.

Busch, J. (2003). What structures could not be. *International Studies in the Philosophy of Science*, *17*, 211-225.

Carroll, J. (1994). *Laws of nature*. Cambridge UP.

Chen, E. K., y Goldstein, S. (2022). Governing without a fundamental direction of time: Minimal primitivism about laws of nature. En Y. Ben-Menahem (Ed.), *Rethinking laws of nature* (pp. 21-64). Springer.

Costa da, N., y Krause, D. (1999). Set-theoretical models for quantum systems. En M. L. Dalla Chiara, R. Giuntini, y F. Laudisa (Eds.), *Language, Quantum, Music* (pp. 171-181). Kluwer.

Costa da, N., y Lombardi, O. (2014). Quantum mechanics: ontology without individuals. *Foundations of Physics*, *44*, 1246-1257.

Costa da, N., Lombardi, O., y Lastiri, M. (2013). A modal ontology of properties for quantum mechanics. *Synthese*, *190*, 3671-3693.

Cresswell, M. (1973). *Logics and Languages*. Methuen.

Denyer, N. (1998). Philoponus, Diodorus, and possibility. *The Classical Quarterly*, *48*(1), 327-340.

Dretske, F. (1977). Laws of nature. *Philosophy of science*, *44*(2), 248-268.

Elitzur, A., y Vaidman, L. (1993). Quantum mechanical interaction-free measurements. *Foundations of Physics*, *23*, 987-997.

Ellis, B. (2001). *Scientific Essentialism*. Cambridge UP.

Fortin, S., Lombardi, O., y Martínez González, J. C. (2018). A new application of the modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics: the problem of optical isomerism. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, *62*, 123-135.

French, S. (2014). *The structure of the world: Metaphysics and representation*. Oxford UP.

___. (2019). Identity and individuality in quantum theory. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2019 Edition). https://plato.stanford.edu/archives/win2019/entries/qt-idind/

Hale, B. (1987). *Abstract objects*. Basil Blackwell.

Harven, V. de. (2015). How nothing can be something: The stoic theory of void. *Ancient Philosophy*, *35*, 405-429.

Heisenberg, W. (1958). *Physics and Philosophy*. George Allen & Unwin.

Held, C. (2022). The Kochen-Specker theorem. En E. N. Zalta y U. Nodelman (Eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. https://plato.stanford.edu/archives/fall2022/entries/kochen-specker/

Hildebrand, T. (2023). *Laws of Nature*. Cambridge UP.

Holik, F., Jorge, J. P., Krause, D., y Lombardi, O. (2022). Quasi-set theory for a quantum ontology of properties. *Synthese*, *200*, art. 401.

Kochen, S., y Specker, E. (1967). The problem of hidden variables in quantum mechanics. *Journal of Mathematics and Mechanics*, *17*, 59-87.

Kneale, W., y Kneale, M. (1984). *The Development of Logic*. Oxford UP.

Krause, D. (1992). On a quasi-set theory. *Notre Dame Journal of Formal Logic*, *33*, 402-411.

Kripke, S. A. (1959). A Completeness Theorem in Modal Logic. *Journal of Symbolic Logic*, *24*(1), 1-14.

___. (1972). Naming and Necessity. En D. Davidson & G. Harman (Eds.), *Semantics of Natural Language* (pp. 253-355; 763-769). Harvard University Press, 1980.

Lewis, D. (1986). *On the Plurality of Worlds*. B. Blackwell.

Lombardi, O., y Castagnino, M. (2008). A modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, *39*, 380-443.

Lombardi, O., Castagnino, M., y Ardenghi, J. S. (2010). The modal-Hamiltonian interpretation and the Galilean covariance of quantum mechanics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, *41*, 93-103.

Lombardi, O., y Dieks, D. (2024). Modal interpretations of quantum mechanics. En E. N. Zalta y U. Nodelman (Eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Summer 2024 Edition). https://plato.stanford.edu/archives/sum2024/entries/qm-modal/

Lombardi, O., Fortin, S., y Pasqualini, M. (2022). Possibility and time in quantum mechanics. *Entropy*, *24*(2), 249.

Margenau, H. (1954). Advantages and disadvantages of various interpretations of the quantum theory. *Physics Today*, *7*, 6-13.

Maudlin, T. (2007). *The Metaphysics within Physics*. Oxford UP.

Maxwell, N. (1988). Quantum propensiton theory: A testable resolution to the wave/particle dilemma. *The British Journal for the Philosophy of Science*, *39*, 1-50.

Menzel, C. (2024). The Possibilism-Actualism Debate. En E. N. Zalta y U. Nodelman (Eds.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*. https://plato.stanford.edu/archives/sum2024/entries/possibilism-actualism/.

Molnar, G. (2003). *Powers: A study in metaphysics*. Oxford UP on Demand.

Mumford, S. (2004). *Laws in Nature*. Routledge.

O'Leary-Hawthorne, J. (1995). The bundle theory of substance and the identity of indiscernibles. *Analysis*, *55*, 191-196.

Parsons, T. (1980). *Nonexistent Objects.* Yale UP.

Plantinga, A. (1974). *The Nature of Necessity*. Clarendon Press.

Popper, K. (1959). The propensity interpretation of probability. *The British Journal for the Philosophy of Science*, *10*(37), 25-42.

Psillos, S. (2006). The Structure, the Whole, Structure and Nothing But, the Structure? *Philosophy of Science*, *73*, 560-570.

Quine, W. V. O. (1948). On What There Is. *The Review of Metaphysics*, *2*(5), 21-38.

Rosen, G. (1990). Modal Fictionalism. *Mind*, *99*(395), 327-354.

Schroeren, D. (2020). Symmetry fundamentalism: a case study from classical physics. *Philosophical Quarterly*, *71*(2), 308-333

Stalnaker, R. (1984). *Inquiry*. MIT Press.

Suárez, M. (2004a). On quantum propensities: two arguments revisited. *Erkenntnis*, *61*, 1-16.

___. (2004b). Quantum selections, propensities, and the problem of measurement. *The British Journal for the Philosophy of Science*, *55*, 219-255.

___. (2007). Quantum propensities. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 38, 418-438.

Tarski, A. (1941). On the calculus of relations. *The Journal of Symbolic Logic*, *6*, 73-89.

Tooley, M. (1977). The nature of laws. *Canadian Journal of Philosophy*, *7*(4), 667-698.

Tugby, M. (2016). Universals, laws, and governance. *Philosophical Studies*, *173*(5), 1147-1163.

Vetter, B. (2009). Review of Bird. *Logical Analysis and History of Philosophy*, *8*, 320-328.

Wetzel, L. (2002). On Types and Words. *Journal of Philosophical Research*, *27*, 237-263.