



DEPARTAMENTO DE  
**FILOSOFÍA**  
UNIVERSIDAD DE SANTIAGO DE CHILE

## **EDITORIAL IN MEMORIAM: CARLO APABLAZA ÁVILA**

No podemos presentar este número de la Revista Culturas Científicas sin cumplir con el, tal vez, más triste y doloroso deber que hubiéramos podido imaginar en cualquier mundo posible en que se editen revistas académicas: despedir la partida inesperada de esos mundos de nuestro querido y entrañable editor de ella hasta comienzos de junio, Carlo Apablaza Ávila. Carlo sin duda era el pilar fundamental de nuestra comunidad editorial. Su trabajo y su incansable dedicación a la revista puso un sello único e irremplazable en cada detalle de las tareas editoriales, lo que fue reconocido no solo por quienes integramos el cuerpo editorial de ella sino por los propios autores de las contribuciones publicadas, que encontraron siempre en él un apoyo oportuno, incisivo pero a su vez animador en las distintas fases del proceso de edición. Era en cierto sentido una forma de transmitir la pasión que Carlo sentía por difundir el conocimiento en general y la filosofía en particular, pero siempre con rigor, sin traicionar el estilo y la transparencia en la aplicación de las normas. Es esa personalidad, con su brillo, su compromiso, su apertura a iniciativas nuevas y su generosidad intelectual especial, la que nos toca honrar con gran pesar en esta oportunidad, sobre todo, porque lo que la revista es ahora y la expansión que ha alcanzado en un corto período, se debe fundamentalmente a esas cualidades. Por ello, su partida no solo ha dejado un impacto y un vacío inmenso en el trabajo editorial, que se ha reflejado circunstancialmente en entendibles retrasos producto de los intentos de asumir en lo básico todas las tareas que quedaron pendientes con su partida, sino porque debemos acostumbrarnos a vivir con ese vacío en nuestros corazones y esa es la parte más difícil para todo equipo de trabajo cuando uno de sus miembros esenciales desaparece.

Todo lo anterior se acoplaba además con rasgos muy propios de la personalidad de Carlo y que nos llevaron a proponerle, sin estar formativamente vinculado a la Universidad de Santiago, a fines de 2020 hacerse cargo de la edición general de nuestra revista, con el propósito expreso de reimpulsar el proyecto editorial. Previo a esto, Carlo ya había asumido el rol de Coordinador General de las Jornadas Rolando Chuaqui y ahí se habían evidenciado todos sus rasgos personales, no sólo su profesionalismo sino, sobre todo, el convertirse en un mentor y amigo confiable para los diversos integrantes de la comunidad organizativa de las Jornadas así como de la comunidad de filósofos de las ciencias que han participado en ellas. Allí fue además rápidamente valorado por su disposición a discutir ideas, proponer iniciativas en nuevos formatos, resolver dudas o simplemente compartir y conversar. Todo eso lo llevó además a comprometerse en distintas iniciativas extra-académicas de difusión del conocimiento científico sin descuidar ni su formación filosófica ni sus labores editoriales. En el primer caso, ya había obtenido antes de la pandemia su grado de Magister en Filosofía por la U. de Chile con una excelente tesis sobre cambio científico y relativismo. En el segundo caso, había proseguido perfeccionando sus capacidades editoriales cursando con éxito un diplomado en gestión editorial de revistas en formato *open access* en el extranjero. Su partida entonces significa una pérdida no menor para esa comunidad más amplia que lo extrañará, sin duda,

como un defensor entusiasta, reflexivo pero siempre amistoso, del cultivo y la divulgación de las ciencias y su filosofía.

Ante una pérdida tan inesperada y dolorosa como esta, a nuestro juicio, no basta, por lo que marcó Carlo Apablaza para nuestra revista y por su reconocida impronta intelectual, sólo honrarlo en las palabras, por lo que nos ha parecido fundamental recordarlo de la única manera que a él se le habría ocurrido si hubiese sido puesto en una posición editorial semejante: dedicarle un número especial de la revista (un dossier) basado en las temáticas filosóficas sobre las que continuaba reflexionando, el cambio y el progreso en ciencias y la cuestión del relativismo epistémico. Nos basaremos para ello en partes de su tesis de postgrado invitando a reflexionar a reconocidos estudiosos sobre las cuestiones que allí trataba y discutía Carlo. Tenemos la confianza que, a comienzos del año próximo, tengamos finalizada la primera fase de dicho volumen y poder presentarlo a la comunidad académica a fines del primer semestre como parte del primer número de la revista correspondiente al año 2024. Es lo que le debemos a Carlo y lo que su gran pasión por la revista nos inspirará en todo ese trabajo.

Finalmente, en nombre de todo el equipo de la Revista Culturas Científicas, extendemos nuestras más sinceras y sentidas condolencias a la familia y a todas las amistades de Carlo. De aquí en más, su memoria vivirá en cada artículo que publiquemos, en cada debate que fomente y en cada joven estudiante que inspire.

**Wilfredo Quezada Pulido**

*Santiago, 31 de julio 2023*



**Héctor Ariel Feruglio Ortiz**

[giovanniferuglio@gmail.com](mailto:giovanniferuglio@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-4503-9868>

Departamento de Filosofía de la Universidad Nacional de Catamarca, UNCA, Argentina.

Director de Investigación de la Facultad de Humanidades (UNCA).

Artículo recibido: 31 de noviembre de 2022

Artículo aceptado: 10 de mayo de 2023

Artículo publicado: 31 de julio de 2023



[CC BY, Héctor Feruglio Ortiz, 2023]

Artículo de Investigación  
<https://doi.org/10.35588/cc.v4i1.5814>

## Espíritu Enciclopédico y Mentalidad Técnica Aportes para una reflexión sobre los procesos de industrialización en la provincia de Catamarca - Argentina en la segunda mitad del siglo XIX

*Encyclopedic spirit and technical mentality*

*Contributions for a reflection on the industrialization processes in the province  
 of Catamarca - Argentina in the second half of the 19th century*

### Resumen

Este trabajo tiene como objetivo aportar herramientas conceptuales para elaborar una reflexión sobre los procesos de industrialización en la provincia de Catamarca - Argentina en la segunda mitad del siglo XIX. En primer lugar, tomaremos como principio de esquematización paradigmática la enciclopedia genética del saber propuesta por el filósofo Gilbert Simondon. Luego analizaremos el espíritu enciclopédico presente en los escritos económicos de Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo diseñados como máquinas de enseñar imágenes del porvenir. Por último, nos propondremos describir algunas de estas imágenes del porvenir como gesto cristalizado en dos objetos técnicos inventados por el D. Mardoqueo Molina y Bazán durante este periodo. Consideramos que estos objetos técnicos constituyen un gesto cristalizado de invención que sirvió como paradigma de inteligibilidad para la construcción de ciertas imágenes del porvenir de la actividad industrial en la provincia. Desde nuestra perspectiva, la falta de un estado de tensión metaestable a nivel social en aquella época fue un obstáculo para la formación de una mentalidad integradora de los aspectos cognitivos, afectivos y normativos que componen la realidad técnica bajo un criterio de apertura. Esto impidió la posibilidad de construir un linaje técnico que contenga el funcionamiento operativo necesario para elaborar vías alternativas para regular las escalas de producción industrial, mediante una integración de los esquemas de acción y de los valores que contempla la tecnodiversidad.

*Palabras clave:* Historia, Filosofía, Industria, Paradigmas, Optimización.

### Abstract

The objective of this work is to provide conceptual tools to elaborate a reflection on the industrialization processes in the province of Catamarca - Argentina in the second half of the 19th century. In the first place, we will take as a principle of paradigmatic schematization the genetic encyclopedia of knowledge proposed by the philosopher Gilbert Simondon. Then we will analyze the encyclopedic spirit present in the economic writings of Federico Schickendantz and Samuel Lafone Quevedo, designed as machines to teach images of the future. Finally, we will propose to describe some of these images of the future as a gesture crystallized in two technical objects invented by D. Mardoqueo Molina y Bazán during this period. We believe that these technical objects constitute a crystallized gesture of invention that served as a paradigm of intelligibility for the construction of certain images of the future of industrial activity in the province. From our perspective, the lack of a state of metastable tension at the social level at that time was an obstacle to the formation of a mentality that integrated the cognitive, affective and normative aspects that would make up technical reality under an open criterion. This prevented the possibility of building a technical lineage that would currently allow us to develop alternative ways to regulate the scales of industrial production, through an integration of action schemes and values that technodiversity contemplates.

*Keywords:* History, Philosophy, Industry, Paradigms, Optimization.

## 1. Introducción

Los escritos económicos de Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo fueron recopilados por el historiador catamarqueño Raúl Caro (2013). El primero fue un químico y filósofo alemán, formado en la Universidad de Heidelberg y de Múnich, que llegó a la Argentina contratado por la familia Lafone en el siglo XIX. Fue contratado para hacerse cargo del ingenio metalúrgico de Pilciao, ubicado en el extremo norte del bolsón de Pipanaco y al sur de Andalgalá, provincia de Catamarca. El segundo fue un uruguayo formado en la Universidad de Cambridge y egresado como maestro en Artes. Poco después de ser contratado Schickendantz por los Lafone, Samuel se trasladó a Andalgalá donde realizó estudios arqueológicos, filológicos, tecnológicos e históricos en la región. Estos escritos fueron publicados por el periódico La Unión en la provincia de Catamarca entre 1884 y 1896, y reimpresos por el Poder Ejecutivo de la Provincia en un solo folleto de 500 ejemplares, para ser distribuidos entre las autoridades superiores de la Nación y de las Provincias. A modo de hipótesis, conjeturamos la presencia de un espíritu enciclopédico en estos escritos, que impulsó la creación de máquinas, la transformación de procedimientos técnicos y la transferencia de conocimientos científicos en la industria minera y vitivinícola. Un espíritu que pretendía impulsar el desarrollo de una mentalidad técnica para optimizar los umbrales de funcionamiento en la actividad industrial a partir de un estudio de los recursos naturales, los saberes ancestrales y la cultura local. Una mentalidad que podría encontrarse como gesto cristalizado en dos objetos técnicos inventados por Mardoqueo Molina y Bazán<sup>1</sup>: los ladrillos refractarios de cuarzo, usados para fabricar los hornos donde se fundía los minerales; y la prensa molina, usada para prensar la uva durante la fabricación del vino. “La presencia del hombre en las máquinas es una invención perpetuada. Lo que reside en las maquinas es la realidad humana, el gesto humano fijado y cristalizado en estructuras que funcionan” (Simondon, 2007, p. 34). Los objetos técnicos inventados por Mardoqueo nos aportan un paradigma de inteligibilidad de naturaleza tecnológica que nos permitirá no solo identificar un conjunto de regímenes operatorios, sino comprender ciertas tensiones sociotécnicas y culturales de la época en los procesos de industrialización. Los escritos económicos elaborados por Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo planteaban que el porvenir de las industrias de Catamarca dependía de una reforma sociotécnica y cultural que abarcara el conocimiento científico y tecnológico aplicado al desarrollo de la arboricultura, la selvicultura y la agricultura. Para cristalizar esta transformación era preciso unificar las operaciones humanas que participaban del sector industrial en la provincia mediante una reforma completa de la educación superior. Este trabajo tiene como objetivo aportar herramientas conceptuales para una reflexión sobre los procesos de industrialización en la provincia de Catamarca - Argentina en la segunda mitad del siglo XIX. Para ello tomaremos la propuesta de una enciclopedia genética del saber elaborada por el filósofo francés Gilbert Simondon como principio de esquematización paradigmática. Primero, presentaremos en forma breve algunos de los escritos económicos de Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo, caracterizados como máquinas, en el sentido enciclopédico de máquinas de enseñar (Germen estructural). Segundo, describiremos el paradigma de inteligibilidad de naturaleza tecnológica emergente de las imágenes del porvenir cristalizadas en los objetos técnicos inventados por Mardoqueo Molina (Gesto cristalizado). Por último, señalaremos el rol de las imágenes en los estados de espera que obstaculizaron el desarrollo de una mentalidad técnica con capacidad de autorregulación (Metaestabilidad). Desde nuestra perspectiva, los estados de espera negativos a nivel social, en la provincia durante la segunda mitad del siglo XIX,

<sup>1</sup> Gobernador de la provincia de Catamarca entre 1976-1879.

conformaron una fuente de alienación que imposibilitó la amplificación de las imágenes del porvenir necesarias para el desarrollo una mentalidad técnica. Esta fuente de alienación que se agudizaría en la segunda mitad del siglo XX, con la industria minera y vitivinícola a gran escala, organizada a partir de un capitalismo voraz que operará sin regular los umbrales de funcionamiento de la actividad industrial. Esto umbrales necesarios para impedir la destrucción de los recursos y las redes sociotécnicas y culturales locales que estructuran las economías sociales.

## 2. El proyecto de una enciclopedia genética en Gilbert Simondon

Durante el dictado de un curso propedéutico en la Universidad de Poitiers entre 1962 y 1963 titulado *Ciencias de la Naturaleza y Ciencias del Hombre*, Gilbert Simondon (2018) se abocó al proyecto de una enciclopedia genética. La elaboración de la misma estaba motivada por la necesidad de encontrar un principio de inteligibilidad luego de la dialéctica lógica y el materialismo dialéctico. Dicho principio sería obtenido por el filósofo francés de la noción de interacción en el organismo con el propósito de abordar el desarrollo del pensamiento. Como un cuerpo atraviesa una fase sólida, líquida o gaseosa entre ciertos límites de temperatura y presión, el saber en su génesis logra su equilibrio en determinadas fases a partir del predominio de algunas funciones. “Cada fase corresponde al predominio de una de las tres funciones, recepción de información perceptiva - antigüedad-, acción -época clásica-, acumulación de energía potencial -época moderna-” (Simondon, 2018, p. 210). Entre las diversas fases de equilibrio estable es posible identificar algunos modificadores de las condiciones de equilibrio que operan como creadores de metaestabilidad. Corresponden a modos no noéticos del saber que preparan desde el exterior del pensamiento sistematizado la posibilidad de ciertos cambios de estructuras que darán lugar a un nuevo sistema. Los potenciadores se diferencian de los modos noéticos del saber porque existen como realidad vivida compartida por muchas personas en forma no reflexiva. Desde la perspectiva de Simondon (2018), los preparadores de crisis son modos no noéticos de saber ligados al arte (artes mágicas), la religión (religión cristiana) y las técnicas (técnicas modernas). Su estudio de los modos no noéticos deriva en el desarrollo de una axiomática organológica tendiente a compatibilizar los modos noéticos y no noéticos con el propósito de arribar a una enciclopedia genética. Podríamos formular su hipótesis del siguiente modo: el saber está sometido a una génesis, la génesis se caracteriza por la aparición de fases, y el número de fases es igual a las funciones principales de todo organismo. Dichas funciones se relacionan con el saber (recepción de información), con el actuar (efectores motores), y con las reservas energéticas (potenciales de acción). Las reservas energéticas pueden ser liberadas de modo directo como energía motora (alimentación) o de modo indirecto mediante una orden que se efectúa por medio de un relevo (motivación). A partir de un estudio comparado entre las ciencias de la naturaleza y las ciencias del hombre, Simondon identificará en la génesis del saber el predominio de alguna de estas funciones<sup>2</sup>. Desde su perspectiva, en la época antigua la función predominante fue el saber, en la época clásica el actuar, y en la época moderna el poder. La antigüedad fue monista en la búsqueda de un principio de inteligibilidad (predominio de la información), la época clásica optó por una axiomática dualista (predominio de los esquemas de acción), y la época moderna adoptó una axiomática dialéctica (trialista), organizada en la relación del saber, la acción y el poder (p. 211). Esta caracterización de las épocas como etapas en la génesis del saber encuentra en el pensamiento simondoniano una correspondencia con los modos de organización del ser. Desde esta perspectiva podemos identificar tres formas de aprehensión de la realidad que operaran en diferentes terrenos. La aprehensión antigua opera en un terreno filosófico,

<sup>2</sup> La caracterización que hace Simondon elabora un recorrido desde una perspectiva occidental.

la clásica en un terreno científico, y la moderna en un terreno tecnológico. Bajo estas consideraciones, el filósofo francés se orienta en la búsqueda de un saber acerca del hombre que contenga en forma simultánea lo filosófico, lo científico y lo tecnológico. Un proyecto que requiere de una axiomática con una mayor amplitud que el monismo, el dualismo y la dialéctica. Esta nueva axiomática toma como principio de inteligibilidad las teorías de la información y la cibernética para intentar realizar una síntesis<sup>3</sup>. Para Simondon, la cibernética de Norbert Wiener fue un impulso necesario para lograr un acceso al dominio reflexivo de los campos no teorizados de la ciencia, no solo mediante un reconocimiento de la potencia de la cibernética a nivel metodológico, sino a partir de la necesidad de elaborar algunas modificaciones preliminares en la reflexión filosófica para su comprensión. Desde la perspectiva simondoniana, la génesis del saber deviene por la aparición de fases. Este devenir implica un desfase que tendrá una función genética en tanto conserve su carácter cíclico, el cual nos permitiría afirmar que el saber de la realidad humana está al final de cada ciclo en su aprehensión polifásica. “Se puede llamar crisis a los estados axiológicos del desarrollo, y considerar arte, religión y técnica, como teniendo el poder de iniciar la transición de los estados de equilibrio entre fases. Estas crisis tienen la función de metaestabilidad y mantienen relaciones dialécticas entre ellas” (Simondon, 2018, p. 213). Una crisis es el resultado de un estado de tensión metaestable que se asienta sobre ciertas condiciones sociales de las fases ligadas a las funciones del organismo. Estas funciones son la recepción de información (función de entrada), la acción (función de salida), y la alimentación (función energética). La predominancia de una función depende de la carencia que demanda una necesidad para la supervivencia del organismo. “Estas crisis en las cuales la metaestabilidad se simplifica en caso particular, son principio de invención de estructura. El organismo entero es modulado por la función en estado de carencia” (Simondon, 2018, p. 215). Estas predominancias operan como indicadores de la presencia o la ausencia de un estado metaestable que sirve como potenciador de un cambio de estructura. En la individuación del grupo está ligado al estado de tensión metaestable no solo al funcionamiento operativo sino también a una dimensión afectivo-emotiva. Para Simondon (2015), sin emoción, sin potencial, sin tensión previa, la individuación del grupo no es posible. Esta no se funda a partir de un contrato o de la normatividad de un grupo ya existente. Cuando un grupo ya constituido recibe un nuevo individuo y lo incorpora, se produce un nuevo nacimiento para el individuo y para el grupo un renacimiento (pp. 378-379). “La relación del individuo con el grupo es en su fundamento siempre la misma: descansa sobre la individuación simultánea de los seres individuales y del grupo; es presencia”. (Simondon, 2015, p.380). Para Simondon, las predominancias de las funciones se pueden identificar del siguiente modo: funciones de información en la antigüedad, funciones de acción en la época clásica, y funciones de alimentación en la época moderna<sup>4</sup>. La propuesta de una enciclopedia genética esbozada por Simondon nos permite identificar un modo de acceso al devenir del saber, una

<sup>3</sup> Según Juan Manuel Heredia (2015), la cibernética provocará un desplazamiento epistemológico desde las nociones de forma y función hacia las nociones de proceso y funcionamiento. Dentro del modelo cibernético, la articulación entre lo psíquico y lo colectivo estará mediado por la noción de información. Por lo tanto, la comunicación y la regulación constituirán dos operaciones fundamentales para el funcionamiento de la vida interior y social del hombre (p. 443). Del mismo modo que la cibernética, Simondon no centrará su análisis en las estructuras sino en las operaciones en estructuras diversas. Si bien el filósofo francés compartirá el planteo problemático de Wiener, su propuesta desbordará los límites de la cibernética a partir del proyecto de una allagmática universal.

<sup>4</sup> En la época clásica las teorías están basadas en esquemas de acción y su principio de inteligibilidad es la noción de causalidad mecánica. Finalmente en la época moderna sus teorías están basadas en esquemas energéticos y su principio de inteligibilidad es la noción de necesidad. “Para las ciencias de la naturaleza, así como también para las ciencias del hombre, los modelos de inteligibilidad se descubrieron primero en las estructuras, luego en la acción; ahora son buscados en los intercambios entre estructura y operación” (Simondon, 2018, p.224).

axiomática orientada a compatibilizar los modos noéticos y no noéticos del saber a partir de un principio de inteligibilidad. En el esquema simondoniano, los modos no noéticos del saber son considerados como potenciadores capaces de dar lugar a cambios de estructuras. Estos potenciadores se diferencian de los modos noéticos de saber porque se caracterizan como una realidad vivida que comparten un gran número de personas en forma no reflexiva. Una epistemología completa en el esquema simondoniano implica contemplar no solo lo cognitivo sino todas las funciones no cognitivas o extracognitivas vinculadas a la praxis y a la afecto-emotividad. Las tres funciones en sus diversas predominancias nos permiten pensar las condiciones presentes y ausentes en el proceso mismo del devenir. Por ello, consideramos relevante identificar el rol de algunas imágenes predominantes en los procesos de industrialización de la provincia de Catamarca durante la segunda mitad del siglo XIX. Estas imágenes pueden operar como un índice epocal que nos permitiría identificar las fuentes de alienación que obturaron el desarrollo de una mentalidad técnica, necesaria para regular las escalas de producción que destruyeron progresivamente las redes sociotécnicas y culturales que estructuraban las economías sociales.

### **3. Las máquinas de enseñar como germen de las imágenes del porvenir**

*Nube que vas pasando como ala 'e cóndor  
sobre el Ambato, yo te estaba esperando, nube viajera,  
desde hace rato. No es para mí que pido tu chifle lleno  
de agüita clara, que del cardón yo he aprendido  
pasar la vida con poco y nada.*

Zamba del Ambato  
Delia Y. Cazenave y Jorge Vera

Como señala Peña de Bascary (2014) Federico Schickendantz se instaló definitivamente en el Ingenio Pilciao en 1862. Compartió el trabajo y amistad con los propietarios, Samuel Lafone Quevedo y el marino danés Juan Heller. Sus investigaciones permitieron abaratar el costo de la fundición de metales y equilibrar los déficits económicos que padecía la empresa. “De entrada, Schickendantz buscó una forma rápida y económica para la fundición, así descubrió un método ingenioso y sencillo para concentrar el oro, existente en el cobre, de éxito completo. Este sistema, vigente durante años, fue llamado 'Schickendantz' en su honor” (Peña de Bascary, 2014, p. 88). Para el historiador catamarqueño Raúl Caro (2013), aunque siguen padeciendo el olvido y el silencio, las propuestas de Federico Schickendantz y Lafone Quevedo sobre la industria minera, agraria, pecuaria, irrigación, forestación, comunicación y educación, son encomiables e importantes, como así también sus aportes para cambiar los usos y costumbres de los pobladores locales para alcanzar la prosperidad económica (Caro, 2013, p. 23). Con el fin de contextualizar la mentalidad presente en la provincia durante este periodo, en su estudio preliminar del libro *Escritos económicos*, Caro (2013) presenta un comunicado publicado el jueves 27 de enero de 1870 en el periódico “La Voz del Pueblo” con el título: “¿Qué remedio para conseguir lluvia en la urgente necesidad que de ella se tiene?”. En este comunicado se proponía como remedio para combatir la sequía en Catamarca “llamar al pueblo a penitencia” y excitar a los “fieles a purificarse en los sacramentos de confesión y comunión” ante un tribunal de penitencia conformado para tal fin por el clero. Tal acción tenía como objetivo hacer llegar el mensaje a la Virgen del Valle (p. 26). La necesidad de agua ha sido

siempre un problema por la escasez hídrica en la provincia, y la fe en la Virgen del Valle el reverso abundante para saciar la sed espiritual. En una segunda nota<sup>5</sup> con fecha del 8 de septiembre de 2015 en el diario El Ancasti de Catamarca, podemos observar una nueva postal periodística como índice de recurrencia histórica. Esta nota hace referencia a lo sucedido en el terremoto ocurrido en la mañana del 7 de septiembre de 2004 en nuestra provincia. “El padre José Antonio Díaz, rector de la Catedral, atribuyó el hecho de que no se lamentaron víctimas fatales ante la magnitud del sismo a la protección brindada por la Virgen del Valle”. Desde entonces, en Catamarca el 8 de septiembre es asueto provincial por el día del milagro, en homenaje a la intervención de la Virgen del Valle en el terremoto<sup>6</sup>. El impacto de las imágenes que se desprenden de estas afirmaciones podría conceptualizarse a partir de aquello que Simondon (2013) denomina estados de espera negativa. Un proceso de desdoblamiento del sujeto como gesto defensivo que envía a un Dios poderoso para combatir la adversidad amenazante en el campo exterior. “El sujeto ha enviado a combatir fuera del campo fortificado a otro yo que lleva consigo un poco de su realidad, y crea así el punto de partida de la alienación, que es, de hecho, una dualización” (Simondon, 2013, p. 57). Edificadas a partir de un temor, estas imágenes motoras representan un régimen de sensibilidades que organizaron y organizan en la actualidad gran parte de la vida de los catamarqueños. Como afirma Raúl Caro (2013) sobre las recorridas de Payró a fines del siglo XIX por Catamarca: “No sin cierta razón irónica, un amigo bromista le había indicado a Payró que Catamarca contaba con tres fuentes de ingreso: los terremotos, las intervenciones y la Virgen del Valle” (Caro, 2013, p. 183). Los estudios de Caro señalan que estas dinámicas económicas fueron analizadas en forma crítica por Schickendantz y Lafone Quevedo, pero sin profesar la indiferencia religiosa o renegar de la tradición de los pueblos originarios, como lo hacía el positivismo nacional (p. 240). Su crítica estaba dirigida a cierto oscurantismo presente en la Argentina, producto de la presencia de la filosofía escolástica unida al dogmatismo ortodoxo, que provocaron una mentalidad poblada de fantasmas medievales. Una mentalidad que impedía el avance de las industrias, perpetuaba la pobreza del pueblo y neutralizaba cualquier aspiración de transformación. Para transformar esta mentalidad, impulsaron una serie de reformas con el objetivo de optimizar los umbrales de funcionamiento de la industria a partir del desarrollo de una nueva mentalidad técnica<sup>7</sup>. Este proyecto nunca encontraría la tensión social (Metaestabilidad) necesaria para lograr los procesos de transformación sociotécnica pretendida. Usamos el término mentalidad técnica en un sentido simondoniano, como aquello que ofrece un modo de conocimiento a partir de modos comunes de funcionamiento (Simondon, 2017, p. 286). Desde nuestra perspectiva, para lograr el desarrollo industrial, estos autores consideraban necesario promover imágenes capaces de generar aquello que Simondon denomina estados de espera positiva. Estos estados también poseen la capacidad amplificante de los estados de espera negativos, pero, a diferencia de aquellos, estos no implican desdoblamiento porque operan a partir de la supresión de los obstáculos y las distancias. “Cuando los estados de espera son positivos, implicando deseo y búsqueda activa, la imagen corresponde también a una proyección amplificante, pero no se crea un desdoblamiento, ya que la dicotomía de lo próximo y de lo lejano no es postulada; el estado de espera positiva actúa como mediante una supresión de los obstáculos y de las distancias reales” (Simondon, 2013, p. 57). Las imágenes en los estados de espera positivos evocan una vida futura

<sup>5</sup> Ver <https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2015/9/8/recordaron-aos-mayor-sismo-historia-272269.html>

<sup>6</sup> Ver <https://www.elancasti.com.ar/info-gral/2017/12/7/convirti-da-milagro-355206.html>

<sup>7</sup> Uno de los maestros de Schickendantz, Justus von Liebig, operacionaliza una ley que permite identificar los umbrales de funcionamiento. La Ley del Mínimo de Liebig asevera que el crecimiento no es controlado por el total de los recursos disponibles, sino por el recurso más escaso. Esto lo llevará a considerar que hasta el elemento más insignificante para la vida es en realidad imprescindible para la misma.

que podemos ver reflejada en algunos de los escritos económicos de Federico Schickendantz y Lafone Quevedo sobre la provincia a saber: Catamarca, sus industrias y su porvenir o El porvenir de Catamarca, el trabajo y el ahorro. Estos escritos podrían ser considerados como máquinas (en el sentido enciclopédico de máquinas de enseñar) que convocan el gesto humano para ponerlas en marcha. Su propósito fue operar como un germen estructural capaz de transformar los modos de organización industrial en la provincia.

El libro *Escritos económicos* de Federico Schickendantz y Samuel A. Lafone Quevedo, está compuesto por nueve trabajos. Según Raúl Caro (2013), estos trabajos se escribieron con varios propósitos. Fueron enviados a los gobernadores Mardoqueo Molina y Octaviano Navarro, dos políticos influyentes en nuestra provincia, como una memoria de las riquezas naturales de ella. En los escritos se proponían los mejores métodos para explorar el territorio y las reformas necesarias que se debían introducir en la agricultura, la ganadería, la minería y la cultura. “Se trata de un extenso trabajo que involucra un minucioso estudio sobre geografía física, agricultura, arboricultura, ganadería, caza, minería y metalurgia, salinas, industrias diversas, pero también indaga sobre nuestra cultura y los defectos que impedían alcanzar el progreso y la prosperidad” (Caro, 2013, p. 13). Son una memoria descriptiva dirigida a comerciantes, productores locales y al poder político, con el objetivo de lograr el desarrollo económico. Se habla de industria minera (metalífera y no metalífera), industria agraria y pecuaria (irrigación, forestación, recursos humanos, desarrollo tecnológico y científico, vitivinicultura, olivicultura y selvicultura). También se propone una industria ligada a un proceso de forestación para curtir y procesar cuero, fabricar vidrio y licores. Se describen procedimientos para mejorar la producción de lácteos, dulces, aceites, lápices, perfumes, medicamentos alcaloides, seda natural, tejidos de algodón. Peña de Bascary (2014) señala el interés de F. Schickendantz durante su estancia en Andalgalá por abordar diversos campos de conocimiento con la pretensión de optimizar el uso de recursos. “Durante el período (1862-1870) de su permanencia en Pilciao, se dedicó a los estudios de la flora del lugar y a las posibilidades que esta prometía. Determinó así los alcaloides que podrían extraerse de algunas plantas de quebracho blanco. De los estudios que dio a conocer sobre el tema, surgió la aplicación dada por científicos franceses a esos alcaloides, figurando en primer término la *Aspidspermina*” (Peña de Bascary, 2014, pp. 88-89). En sus trabajos, Schickendantz explora diversos usos químicos para la curtiembre, cuerdas, cordeles, lacas, tintes, anilinas, quitamanchas, lozas, ladrillos y crisoles refractarios, goma laca y pólvora. Aborda las propiedades del ácido sulfúrico y la turba, la explotación y procesamiento de minerales. Son escritos que componen un conjunto de saberes científicos, técnicos y culturales sobre los procesos de producción en diversos sectores artesanales e industriales de la provincia de Catamarca. Como afirma d’Alembert (2020) en el discurso preliminar de la Enciclopedia, la comunicación de ideas es la base para encontrar un principio de inteligibilidad que nos impulse a diferenciar lo que nos beneficia de lo que nos perjudica. Como afirma Darío Sandrone (2016), la Enciclopedia de Diderot no fue la primera en transmitir conocimientos técnicos, ni hablar sobre máquinas y oficios, tampoco la más completa, extensa y erudita. Se construyó como una herramienta de educación pública, y su originalidad radica en el lugar privilegiado que le otorgó a ese tipo de saberes. Su finalidad no se limitaba a la utilidad práctica y su destinatario fue un lector universal, no solo el experto o académico. No era un manual de instrucciones para perfeccionar los oficios, sino una especie de libro de cultura general. “La estrategia de los enciclopedistas consistía en identificar y especificar el tipo de instrumentos y acciones específicas de cada paso de los procesos productivos y describirlas de manera ordenada” (Sandrone, 2016, p. 2). Desde esa perspectiva, los enciclopedistas inauguran un tipo de reflexión que busca el tipo de conocimiento oculto en la repetición de las acciones: Encontrar, detrás de ese hacer cosas de los artesanos, múltiples

capacidades cognitivas que comprenden operaciones, regularidades y reglas de acción. Dichas capacidades nos ofrecen una habilidad pero también un principio de inteligibilidad poblado de imágenes con el poder de estructurar un esquema de acción para un trabajo determinado. Sin embargo, como afirma Simondon (2007), semejante formación técnica, basada en la intuición y en esquemas operatorios puramente concretos, se vuelve difícil de formular y transmitir por un simbolismo cualquiera, oral o figurado. “La habilidad es una de las formas del poder, y el poder supone un hechizo que hace posible un intercambio de fuerzas, o más bien un modo de participación más primitivo y más natural que el del hechizo, ya muy elaborado y parcialmente abstracto. En este sentido, la habilidad no es el ejercicio de un despotismo violento, sino de una fuerza conforme al ser que conduce. En el verdadero poder del hombre hábil existe una relación de causalidad recurrente” (Simondon, 2007, p.111). Desde la mirada simondoniana, la Enciclopedia de Diderot y d'Alembert constituye un ejemplo de segundo tipo de conocimiento técnico, racional, teórico, científico y universal. Este tipo de conocimiento se basa en un esquema circular que implica una operación técnica que no se cierra sobre sí misma en el secreto de la especialidad. “Esta universalidad consistente y objetiva, que supone una resonancia interna de dicho mundo técnico, exige que la obra esté abierta a todos y constituya una universalidad material e intelectual, un bloque de conocimientos técnicos disponible y abiertos” (Simondon, 2007, p.113). Para el filósofo francés, la Enciclopedia también manipula y transfiere fuerzas y poderes, elabora un hechizo, pero no hechiza del mismo modo que el conocimiento instintivo, porque no coloca la misma realidad en el interior del círculo del saber. “El círculo es la realidad objetiva del libro que lo representa y constituye. Todo lo que está figurado en el libro enciclopédico está en poder del individuo que posee un símbolo figurado de todas las actividades humanas en sus detalles más secretos” (Simondon, 2007, p.113). Dentro de la Enciclopedia el secreto del universo objetivado conserva de la noción de secreto su sentido positivo vinculado a la perfección del conocimiento, y suprime el carácter negativo de oscuridad que hacía del conocimiento algo reservado a un pequeño número de hombres. Consideramos que los escritos económicos de Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo, contienen un espíritu enciclopédico que pretendía romper con ese carácter negativo de oscuridad que hacía del conocimiento algo reservado para unos pocos, e instaurar en la sociedad estados de espera positivos en el porvenir de las industrias de Catamarca<sup>8</sup>. En el contexto de una sociedad cerrada en sus estados de espera negativos, estos escritos pretendían ampliar el círculo temporal y social de la información. Como afirma Simondon (2018), la enciclopedia es por naturaleza tecnológica, procede de un régimen de pensamiento abierto volcado hacia el porvenir. Esta no busca excluir sino incluir, unificar operaciones. “Para reunir todas las operaciones humanas, hace falta descubrir una operación fundamental en la cual todas las otras puedan coincidir: la intención enciclopédica es ante todo pedagógica” (Simondon, 2018, p. 113). Desde esta perspectiva, la enciclopedia constituye un gesto autodidacta de una sociedad en vías de formación a partir de la destrucción del cierre esotérico de las corporaciones y oficios. Los escritos económicos de Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo, conformaron una máquina de enseñar que convocaba el gesto humano para ponerla en marcha. Su fuerza transformadora se apoyaba en el impulso de un espíritu enciclopédico cuyo sentido era operatorio y técnico. Los informes eran elaborados con el propósito de operar como un germen estructural capaz de amplificar estados de espera positiva para

---

<sup>8</sup> Lorena B. Rodríguez (2018) señala que las relaciones entabladas por Lafone con los trabajadores dentro de lo que se ha denominado como “paternalismo industrial”, definido como un conjunto de mecanismos de control en diversas dimensiones de la existencia con el fin de garantizar mano de obra segura y adiestrada. Considero que es una línea de discusión interesante para desarrollar, pero que escapa al propósito de este trabajo.

la construcción del porvenir. En el siguiente punto, intentaremos derivar un paradigma de inteligibilidad que nos permita comprender su propuesta a partir del análisis de dos objetos técnicos creados por Mardoqueo Molina y descritos en estos escritos: los ladrillos refractarios de cuarzo (para fabricar los hornos donde se fundía los minerales) y la prensa molina (usada para prensar la uva para la fabricación del vino). Analizar el modo de existencia de estas realidades técnicas nos permitirá conocer por qué constituyen para Schickendantz y Lafone Quevedo un gesto cristalizado que expresa un óptimo de funcionamiento necesario en la época para mejorar la actividad industrial.

#### **4. Los inventos de Mardoqueo Molina como paradigmas de inteligibilidad**

*La zamba de los mineros  
tiene solo dos caminos  
morir el sueño del oro,  
vivir el sueño del vino.*

Zamba de los mineros  
Gustavo "Cuchi" Leguizamón

En su texto “Las industrias de Catamarca”<sup>9</sup>, enviado al diario La Unión el 17 de enero de 1981, Federico Schickendantz elabora una memoria descriptiva sobre las industrias de Catamarca, que servirá como base a los escritos posteriores que elaborará junto a Samuel Lafone Quevedo. Dentro de este texto, se describen actividades vinculadas a la industria minera, a los minerales no metalíferos, y al reino vegetal mediante un catálogo razonado de plantas<sup>10</sup>. Nos interesa situarnos en los minerales no metalíferos, específicamente los ladrillos refractarios creados por Mardoqueo Molina, un empresario y político argentino, octavo gobernador federal constitucional de la provincia de Catamarca en el período 1876-1879. La escasez de agua llevó a la necesidad de plantear un proyecto de represas para colectar el agua durante la noche. “El que conoce las costumbres del país, no ignora los grandes males que resultan de la irrigación de los terrenos durante la noche” (Schickendantz, 2013, p. 390). Durante la noche se cometían en forma frecuente robos de agua, por lo tanto, construir una represa era una posible solución para estos problemas. La mayoría de los problemas estaban vinculados a un agotamiento de las vertientes y arroyos antes de llegar al campo y la mala canalización que promovía el desarrollo de enfermedades miasmáticas por el desborde del agua y su mezcla con otros elementos (p. ej. estiércol). Para solucionar estos problemas se empieza a construir acequias de cal y piedra o ladrillo. En el caso de las piedras se sugería el *Jasi*, rocas calcáreas que databan de la época terciaria y se encontraban cerca de San José y Santa María, dos localidades cercanas. Por otro lado, se encontraban disponibles los ladrillos refractarios inventados por Mardoqueo Molina. Su principal materia era el cuarzo, y fueron usados en los ingenios. Poseían una calidad igual al fabricado por los ingleses, y a un costo cuatro veces menor. El ingenio del Pilciao, por ejemplo, poseía nueve hornos, y en cada uno de estos entraban 9000 ladrillos, que debían

<sup>9</sup> Este escrito fue publicado por Federico Schickendantz en una revista alemana. Posteriormente el científico alemán se arrepentirá por considerar esta acción poco útil para el propósito de “informar sobre las industrias de Catamarca” (Caro, 2013, p. 383).

<sup>10</sup> Dentro de este catálogo distinguiré: plantas medicinales, esencias y aceites etéreos, plantas de curtir, plantas sacaríferas y otras plantas técnicas.

ser renovados varias veces al año. “El cuarzo, el principal ingrediente de estos ladrillos, ocurre cerca de Sijan, con un estado de pureza y división tal, que con solo ceñirlo, queda apto para sus aplicaciones técnicas” (Schickendantz, 2013, p. 391). Entre esas aplicaciones se encontraban la preparación de silicato soluble de potasa, la de cristal y la de vidrio. Se pensaba que estas aplicaciones técnicas permitirían, entre otras cosas, fabricar las botellas de licor con materiales y procedimientos locales. La parte plástica de los ladrillos se obtenía de un granito sacado de un antiguo ingenio llamado Amanao. Schickendantz describe el efecto de suspensión de una lama de Kaolina que provocaba el granito al deshacerse en agua para depositarse en los toneles o cubos de madera. “Con algo más de prolijidad y repetidas lavadas que conviene practicar, en Amanao mismo podría producirse un excelente material para loza, cuyo vidriado nos facilitaría el hermoso felspato de las capillitas y el bórax (hidroborocalcita) que se ha descubierto en la frontera del norte de nuestra provincia” (Schickendantz, 2013, p.392). Dentro de este texto se rescata la fabricación de tinajas, pucos, yuros y otras vasijas, elaboradas por los pueblos originarios con técnicas ancestrales, desarrolladas bajo el imperio de los incas, que excederían por su calidad las técnicas modernas de alfarería. Desde su perspectiva, se contaba con los materiales, los metales y las técnicas, era un arte que se encontraba en su primera infancia, ya que no se conocían máquinas como el torno. Entre otras cosas, en el texto se pone de relieve la posibilidad de producir ácido sulfúrico con elementos de zona, mediante el método Leblanc, que consistía en convertir la sal común en sulfato de soda, y este por medio de cal en carbono. También se describe en el texto el uso de las cenizas de árbol acumuladas en los ingenios, que contenía potasa en lugar de soda de jume, un material con el cual se podía producir legía para el lavado de piezas grandes o jabón de soda por medio de la sal común. Según el químico alemán, este producto serviría para lavar la lana con la cual se elaboraban los tejidos (una práctica habitual en Europa), y mejoraría el producto, purificando los hilos, evitando que se tiñeran desiguales, o salieran manchados. Otro uso posible derivado de las sales de potasa era la fabricación de pólvora. La región poseía restos de salitre en su suelo, no en estado puro, en su mayor parte nitratos de soda y de sal, el cual podría ser refinado mediante procedimientos específicos. También, en las regiones volcánicas (Antofagasta de la Sierra), sería posible encontrar azufre, mineral común en zonas volcánicas. “El Azufre puede ser obtenido también por una calcinación muy esmerada de las piritas que tanto abundan en nuestras minas. Poseemos, pues, todos los elementos necesarios para la fabricación de pólvora” (Schickendantz, 2013, p. 394).

Otro invento de Mardoqueo Molina es descrito por Samuel Lafone Quevedo, en su texto las Industrias de Catamarca (continuación del texto de Schickendantz), donde se aboca a la industria vitivinícola. El escrito se remonta al 1 de mayo de 1881, y tenía como propósito informar sobre el estado de los emprendimientos vitivinícolas y las transformaciones necesarias para el desarrollo de esta actividad. Desde la perspectiva de Lafone Quevedo, para lograr estas transformaciones en las industrias de la provincia de Catamarca faltaban tres cosas: capitales, conocimientos y viabilidad. “Cuando llegué a esta provincia, recuerdo que los pobres ponían sus noques, los ricos sus tinajas de vino; unos y otros tapaban las bocas con cueros de cabra y Dios te ayude vino mío” (Lafone Quevedo, 2013, p. 441). Según Lafone, por aquellos tiempos se tenía la idea de que había algo de sobrenatural y milagroso en el arte de hacer buen vino. Sin embargo, desde su perspectiva, el milagro solo estaba en las leyes de la naturaleza y la inteligencia otorgada por Dios para poder descubrirlas. Al describir los modos para optimizar la conservación del vino, por ejemplo, se rescataba el uso de la madera del algarrobo negro, considerada mala como vasija de conducción por su gran peso, pero excelente para el servicio de bodegas. La tendencia a ilustrar los modos de aprovechar mejor los recursos, los inventos y las técnicas existentes en la región es frecuente en los escritos económicos de Schickendantz y Lafone Quevedo. Uno de esos inventos se vincula con la construcción de prensas

locales fáciles de fabricar y que brindaban los mismos servicios que las prensas traídas del extranjero. “Se llaman Prensas Molinas por la siguiente circunstancia. Recibí una de esas pequeñas prensas americanas para quesos, y al pasar por Catamarca las inspeccionó el señor D. Mardoqueo Molina; ingenioso cómo es ese señor, en el acto comprendido que se podía mejorar el modelo agrandándolo y poniendo, en lugar del tornillo complicado de piñón y manubrio, un pie de gato, de seis toneladas de fuerza” (Lafone Quevedo, 2013, p. 450). Esta prensa tenía la posibilidad de ser trasladada con facilidad en las alforjas, y ser armada donde se dispusiera de cuatro palos y una tabla. Adaptando estas ideas, Lafone hizo construir armazones de dos palos parados y dos cruzados, con su batea, un platillo para cargar el tambor (calado en dos piezas), y una vara de diámetro con su tapa y su pie de gato de seis toneladas, a los que llamó Prensa Molina. Esto le permitió abandonar el uso de la prensa viga, incómoda, morosa y peligrosa para el uso de los peones. La Prensa Molina tenía un costo de fabricación de 100 pesos bolivianos máximo. Una prensa alemana costaba alrededor de 1500 bolivianos, incluyendo los costos de envío hasta el lugar. “Pero no es esta la única ventaja, pues debemos tomar en cuenta que cualquier sacha carpintero puede componer la Prensa Molina, y el tornillo con 30 fuertes se repone, y aun con menos, si por algún acaso o por el uso hay que mudarlo; no así con la prensa alemana que es complicadísima, en su mayor parte de hierro colado, y que solo se podría componer ocurriendo a la fábrica” (Lafone Quevedo, 2013, p. 451). Para lograr socializar esta tecnología que abarataba costos con buenas funcionalidades, Lafone indica en su texto lo conveniente que hubiera sido adjuntar en su informe un dibujo de esta máquina sencilla de construir y tan útil para el labrador Catamarqueño. Se invitaba a aquellos que quisieran ver su funcionamiento al fuerte, donde las máquinas estaban en uso, o las que poseía Mardoqueo Molina. En ambos casos se aclaraba que eran prensas de orujo en la vendimia, y prensas de enfardelar el resto del año. Esta posibilidad era una capacidad particular de este tipo de máquinas que no podía asignarse a una máquina extranjera, porque poseía una espiga central o husillo que estorbaba para este fin.

Ambos objetos técnicos inventados por Mardoqueo Molina constituían para Schickendantz y Lafone Quevedo un gesto cristalizado de las imágenes del porvenir de la industria catamarqueña. Estas imágenes que nos aportan un paradigma de inteligibilidad para comprender, a partir de su funcionamiento operativo, la presencia de un espíritu enciclopédico en sus escritos. Cuando Gilbert Simondon piensa el objeto técnico como paradigma de inteligibilidad lo hace a partir de dos vías. En la primera, el objeto técnico suministra un paradigma de inteligibilidad mediante la explicación del funcionamiento de las estructuras elementales de todos los objetos. En la segunda, el rol paradigmático de los objetos técnicos se desarrolla de manera indirecta, no mediante la asimilación de los objetos no técnicos, sino a través de normas que permiten ver el objeto técnico en un universo técnico más general. Por lo tanto, la noción simondoniana de objeto técnico nos aporta una categoría más vasta que la del trabajo para abordar el problema de la alienación, a saber: el funcionamiento operativo. Bajo esta mirada, desarrollar una mentalidad técnica con la capacidad para reunir los aspectos cognitivos, afectivos y normativos que componen la realidad técnica implica el criterio de apertura. En su trabajo, Simondon (2017) reconstruye el antagonismo entre las técnicas artesanales e industriales para identificar cómo confluyen los esquemas cognitivos (posibilidades de representación mental) y las modalidades afectivas (actitud del hombre) en las técnicas de una época. Desde esta perspectiva, se concibe la mentalidad técnica como un modo de conocimiento *sui generis* que emplea la transferencia analógica y el paradigma. En las técnicas preindustriales, el artesano era la fuente de información y de energía para el trabajo. Bajo esta modalidad, todas las condiciones dependían del hombre, la fuente de la energía era la misma que la fuente de la

información. En el caso de las técnicas industriales, la fuente de información y la fuente de energía se separan. A partir de esta nueva modalidad, el hombre queda solo como fuente de información, y le demanda a la naturaleza el suministro de energía. Según Simondon (2017), el problema en el mundo industrial radica en lo siguiente: el acto de suministro de información se disocia. Una disociación que no solo separa las fuentes de información de las fuentes de la energía y de la materia prima, sino los roles del inventor, el constructor y el operario. Estos roles que estaban antes integrados en el artesano, ahora en su especialización nos impiden tener un acceso a su modo ser como totalidad. En la medida que la producción industrial permanezca separada del campo social de utilización de sus productos, se obtendrá la conformación de un código de valores capaz de universalizarse. Por ello, Simondon (2017, p. 45) propondrá una tercera vía para desarrollar la mentalidad técnica mediante la conformación de redes multifuncionales (redes de información) como nodos de conexión capaces de integrar esquemas de acción y de valores. Solo cuando el sujeto se manifieste destituido de su función social, aparecerá como algo más que su individualidad, y podrá redefinir las prácticas alienantes producidas de nuestro vínculo instrumental en los modos de producción industrial. Consideramos que las invenciones de Mardoqueo Molina conformaron un paradigma de inteligibilidad para comprender el proyecto de industrialización, tanto por vía directa en el funcionamiento elemental, como por vía indirecta en el funcionamiento normativo. Sin embargo, este proyecto impulsado por el espíritu enciclopédico de las máquinas de enseñar de Schickendantz y Lafone Quevedo no pudo concretarse. El desarrollo de la mentalidad técnica en la provincia se vio obstaculizado por diversos estados de espera negativos, expresados en los modos religiosos, políticos y económicos que la sociedad catamarqueña utilizaba para resolver las dimensiones problemáticas del individuo.

## **5. A modo de conclusión**

Como afirma Darnton (2002) en relación con la Enciclopedia, podríamos afirmar que los escritos económicos de Federico Schickendantz y Samuel Lafone Quevedo, lejos de ser un compendio neutral de información, disputaron el conocimiento al clero y pretendieron poner el saber en las manos de aquellos interesados y comprometidos con la transformación de la provincia. Sin embargo, para lograr esta transformación era preciso la formación de una mentalidad técnica capaz de regular la actividad industrial bajo criterios unificados. Desde la perspectiva de Simondon (2017, p. 302), la formación de una mentalidad se edifica a partir de un criterio único, capaz de reunir los aspectos cognitivos, afectivos y normativos que componen la realidad técnica: el criterio de apertura. Podemos encontrar este criterio de apertura en el espíritu enciclopédico que portan los escritos económicos de F. Schickendantz y S. Lafone Quevedo. Su propósito era operar como máquinas de enseñar capaces de integrar acciones y normas en un modelo de producción industrial. Para estos autores el porvenir de las Industrias de Catamarca dependía de una transformación de los regímenes operatorios y la economía de usos, regulaciones y reparaciones de los objetos técnicos. Los objetos técnicos inventados por Mardoqueo Molina nos ofrecen un paradigma de inteligibilidad de naturaleza tecnológica para comprender el espíritu de estas transformaciones. Dichas invenciones constituyeron un gesto cristalizado de las imágenes del porvenir impulsadas por Schickendantz y S. Lafone Quevedo para generar estados de espera positiva. Sin embargo, la ausencia de un estado de tensión metaestable a nivel social en la provincia de Catamarca durante aquella época impidió el

desarrollo de una mentalidad técnica, una mentalidad capaz de reunir los aspectos cognitivos, afectivos y normativos que componen la realidad técnica bajo un criterio de apertura que permita la transformación. Consideramos que los estados de espera negativos constituyeron una de las principales fuentes de alienación y un obstáculo para la elaboración de un modelo productivo que contuviese una vía reparadora o reguladora en el curso de la acción. Estas fuentes de alienación se agudizarían en la región con el desarrollo de la explotación minera y vitivinícola a gran escala en la segunda mitad del siglo XX, organizada a partir de un capitalismo voraz que opera en la actualidad sin regular los umbrales de funcionamiento. Si pretendemos construir en nuestra región una vía alternativa al modelo extractivista alienante del capitalismo contemporáneo, se torna imprescindible la formación de una nueva mentalidad técnica acorde al desarrollo tecnológico actual. Kate Crawford (2023) abre una línea interesante de exploración al afirmar que la inteligencia artificial no es artificial ni inteligente, existe de forma material. Es una forma corpórea hecha de recursos naturales, combustible, mano de obra, infraestructura, logísticas, historias y calificaciones (p. 26). No puede reducirse a un aspecto puramente técnico, pues conlleva fuerzas económicas, políticas, culturales e históricas que la modulan. Desde su perspectiva, comprender la IA desde la óptica de un Atlas, nos permitiría identificar no solo los mapas de los caminos abiertos por el desarrollo tecnológico, sino también los mapas de dominación que delimitan las fronteras y revelan los caminos coloniales del imperio. La minería de extracción, por ejemplo, del litio, un recurso que actualmente se extrae en la provincia de Catamarca, deja huellas. Una perspectiva topográfica nos ofrece diversas escalas y perspectivas más allá de las promesas abstractas de la IA. Vivimos un proceso de aceleración tecnológica que nos coloca en una época que Flavia Costa (2021) denomina Tecnoceno, una declinación del término Antropoceno acuñado por el químico atmosférico Paul Crutzen para describir a nivel geológico la influencia del comportamiento humano sobre la tierra en las últimas décadas. Desde su perspectiva, el Tecnoceno es una época que pone en marcha tecnologías de alta complejidad y altísimo riesgo, que dejan huellas en el mundo. Dichas huellas no solo afectan a las poblaciones actuales, también afectará a las poblaciones y especies futuras del planeta (p. 9). Muchos autores han planteado la necesidad de ralentizar o modular las distintas aceleraciones a partir de una verdadera crítica al Antropoceno que permita construir condiciones más igualitarias de vida. Para Yuk Hui (2020), el fin de la globalización como fenómeno unilateral y la llegada del Antropoceno nos obliga a hablar de una cosmopolítica. Un concepto que puede pensarse en dos sentidos: en sentido comercial y en sentido de política de la naturaleza. Desde su mirada, si bien el concepto de cosmología es central para el concepto de naturaleza, definido según distintas ecologías de relaciones, se hace imposible superar los obstáculos de la Modernidad sin abordar de manera directa la cuestión de la técnica. Para ello, el filósofo chino propone ir más allá de la noción de cosmología y abordar aquello que denominará cosmotécnica. Esta categoría es definida como la unificación del cosmos y lo moral por medio de actividades técnicas (p. 57). Como no hubo ni una ni dos técnicas, sino múltiples cosmotécnicas, el tipo de moralidad, qué cosmos y de quién, y cómo unificarlos dependerá de cada cultura. En función de esto, consideramos que abordar nuestras propias cosmotécnicas se vuelve un trabajo necesario para poder elaborar una mentalidad tecnodiversa en perspectiva latinoamericana. Una perspectiva unificada basada en un criterio de tecnodiversidad integrado a la cultura permitiría reabrir la pregunta por la técnica para rechazar un futuro tecnológico homogéneo como única opción. Por ejemplo, el desarrollo de una mentalidad en clave tecnodiversa nos permitiría elaborar aportes situados para la conformación de las agendas

territoriales de ciencia y tecnología de la Argentina a nivel regional, nacional e internacional. Durante el año 2022, la definición de la agenda territorial – región NOA, elaborada desde el Ministerio de Ciencia en Innovación tecnológica de Catamarca, en el marco del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030 implicó una serie de acuerdos y principios rectores de la política de CTI. Entre esos principios, se impulsa un sector productivo con alta densidad tecnológica que genere mayor inclusión social y competitividad en la economía provincial. También, se promueve la vinculación interinstitucional científico-tecnológica en los sectores público y privado, y la generación de conocimiento científico, desarrollo tecnológico e innovación. Se propone una asignación equitativa de fondos en los ejes de desarrollo territorial, la formación de recursos humanos, y la generación y transferencia de conocimiento científico tecnológico con impacto social. Consideramos que una forma de evitar un futuro tecnológico homogéneo como única opción es incluir investigaciones capaces de expresar cosmotécnicas situadas culturalmente como líneas de desarrollo territorial dentro de las agendas a nivel provincial y regional, en el marco del Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación 2030. En el Plan 2030, las agendas dirigidas a ciencias sociales y humanas tienen como propósito la comprensión e intervención en las dinámicas sociales asociadas a los problemas que se presentan en nuestra sociedad con un especial énfasis en lo vinculado a los sectores más vulnerables. También promueven el desarrollo de una Cultura Científica con la convicción de que ella cumple un rol clave en la constitución de ciudadanía en un sentido abierto, plural y democrático. Por ello, resulta necesario promover una cultura científica y técnica en clave tecnodiversa capaz de regular los umbrales de funcionamiento de las escalas de producción industrial, mediante una integración de los esquemas de acción y de los valores en una vía que contemple la tecnodiversidad, sus historias y las posibilidades que ofrecen para reapropiarnos de la tecnología. Como afirma Yuk Hui (2020), debemos comenzar a transformar e interrogar la gigantesca fuerza tecnológica desde múltiples cosmotécnicas para dar cuenta de nuestras propias condiciones técnicas de producción y de formación.

## Referencias

- Ballabio, A. (2018). Ontología indirecta e individuación en el último Merleau-Ponty. *Revista de Psicología Universidad de Antioquia*, 10 (1): 93-116. <https://doi.org/10.17533/udea.rp.v10n1a04>
- Caro, R. (2013). *Escritos económicos: Federico Schickendantz, Samuel a. Lafone Quevedo*. Tomo I: Editorial Universitaria - UNCA.
- Caro, R. (2013). *Escritos económicos, Federico Schickendantz, Samuel a. Lafone Quevedo*. Tomo II: Editorial Universitaria - UNCA.
- Costa, F. (2021). *Tecnoceno. Algoritmos, biohackers y nuevas formas de vida*. Taurus.
- Crawford, K. (2023). *Atlas de la inteligencia artificial. Poder, política y costos planetarios*. Fondo de Cultura Económica.
- D’alembert, Jean le Rond (2020). *Discurso preliminar de la enciclopedia*, Editorial Universidad de Guadalajara.

- Darnton, R. (2002). *La gran matanza de gatos y otros episodios en la historia de la cultura francesa*. Fondo de Cultura Económica.
- Heredia, J. M. (2016). La invención de la individuación a la luz de una problemática histórico-epistemológica. *Páginas De Filosofía*, 17(20): 59–82. Recuperado a partir de <https://revele.uncoma.edu.ar/index.php/filosofia/article/view/975>
- Peña de Bascary, S. (2014). Federico Schickendantz. Un científico investigador y vehemente. *Revista de la Junta de Estudios Históricos de Tucumán*, (14): 86-124.
- Kant, I. (2002). *Respuesta a la pregunta: ¿Que es la ilustración?* Tecnos.
- Rodríguez, L. (2018). El “problema” de los trabajadores en un emprendimiento minero del oeste catamarqueño (segunda mitad del siglo XIX). Aportes desde un corpus documental poco conocido *MUNDO DE ANTES*, 12(2): 97-125.
- Sandrone, D. R. (2016). Elementos para una fundamentación y metodología de la educación tecnológica argentina en la Enciclopedia de Diderot. *Revista Argentina de la Enseñanza de la Ingeniería*. Año 5 (10): 1-8.
- Schickendantz, F. y Lafone Quevedo, S. (2013). Industrias de Catamarca. En Raúl Caro (compilador) *Escritos económicos: Federico Schickendantz, Samuel A. Lafone Quevedo*. Editorial Universitaria - UNCA. Tomo II: 377-483.
- Simondon, G. (2017). *Sobre la técnica*. Cactus.
- Simondon, G. (2018). *Sobre la Filosofía*. Cactus.
- Simondon, G. (2007). *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Prometeo.
- Simondon, G. (2013). *Imaginación e invención*. Cactus.
- Simondon, G. (2015). *Comunicación e información*. Cactus.
- Hui, Y. (2020). *Fragmentar el futuro. Ensayos sobre tecnodiversidad*. Caja Negra.

## Documento citado

Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación. Secretaría de Planeamiento y Políticas en Ciencia, Tecnología e Innovación. IF-2022-90458465-APN-MCT. Plan nacional de ciencia, tecnología e innovación 2030. <https://www.argentina.gob.ar/ciencia/plan-nacional-cti/plan-cti>



**Paulo Olivares Díaz**

[paulo.javier.olivares@gmail.com](mailto:paulo.javier.olivares@gmail.com)

Abogado, Magíster en Filosofía de la Universidad de Chile.

*Artículo recibido:* 14 de marzo de 2023

*Artículo aceptado:* 25 de mayo de 2023

*Artículo publicado:* 31 de julio de 2023



[CC BY, Paulo Olivares Díaz, 2023]

Artículo de Investigación

<https://doi.org/10.35588/cc.v4i1.5995>

## Conclusiones Indeseables en las Ciencias: Una Perspectiva Pluralista

*Undesirable conclusions in the sciences: a pluralistic perspective*

### Resumen

El presente trabajo procura abordar, dentro del contexto del debate en torno a la influencia de valores extra epistémicos en las ciencias, el problema respecto de ciertas investigaciones científicas que pudieran contener conclusiones indeseables, en el sentido de que su contenido pudiera afectar a ciertos grupos sociales. Siguiendo el razonamiento del filósofo pluralista Philip Kitcher, se sitúa la discusión en torno a la renuncia a la búsqueda de ciertas verdades, cuando éstas puedan reñir con ciertos valores morales, políticos o sociales que no estamos dispuestos a transgredir. Al respecto, se sitúa la discusión en torno al caso hipotético de una investigación psicológica que en la actualidad concluyera que la raza sí es un factor determinante en la inteligencia; también se reflexiona respecto al caso histórico de la homosexualidad, la cual fue considerada hasta la segunda mitad del siglo XX una patología mental desde la psiquiatría. En dicha línea, se aportan argumentos en torno a la influencia de las consideraciones morales que pueden informar nuestro juicio sobre las verdades que describen el mundo, al entrelazamiento entre hecho y valores, como también respecto a la dimensión moral del obrar humano que resulta ser un aspecto irrenunciable, lo cual sería enteramente aplicable a la actividad científica. Asimismo, se procura abordar los asuntos planteados bajo una perspectiva pluralista, tomando en consideración los aportes atingentes que se han hecho desde esta corriente de filosofía de las ciencias. Se concluye que sí existen buenas razones para decidir no investigar o no publicar ciertos contenidos que puedan afectar a ciertos grupos sociales, al mismo tiempo que queda abierta la pregunta respecto al mejor mecanismo para satisfacer dicha preocupación.

**Palabras clave:** valores extra epistémicos, pluralismo científico, conclusiones indeseables, hechos y valores, ser y deber ser.

### Abstract

The present work seeks to address, within the context of the debate around the influence of extra-epistemic values in the sciences, the problem regarding certain scientific investigations that could contain undesirable conclusions, in the sense that their content could affect certain social groups. Following the reasoning of the pluralist philosopher Philip Kitcher, the discussion is situated around the renunciation of the search for certain truths, when these may conflict with certain moral, political or social values that we are not willing to transgress. In this regard, the discussion is situated around the hypothetical case of a psychological investigation that currently concludes that race is a determining factor in intelligence; also reflects on the historical case of homosexuality, which was considered until the second half of the 20th century a mental pathology from psychiatry. In this line, arguments are provided about the influence of moral considerations that can inform our judgment about the truths that describe the world, the intertwining between fact and values, as well as regarding the moral dimension of human action that turns out to be an inalienable aspect, which would be entirely applicable to scientific activity. Likewise, an attempt is made to address the issues raised from a pluralistic perspective, taking into consideration the pertinent contributions that have been made from this current of philosophy of sciences. It is concluded that there are good reasons to decide not to investigate or not to publish certain content that may affect certain social groups, while the question remains open regarding the best mechanism to satisfy this concern.

**Keywords:** extra epistemic values, scientific pluralism, undesirable conclusions, facts and values, is and ought.

## 1. Introducción

En las tres últimas décadas, dentro de la filosofía de las ciencias, se ha desarrollado un debate en torno a la pregunta sobre el rol que puedan tener los valores morales, políticos y sociales en las ciencias. Esta discusión se ha dado fundamentalmente en respuesta al ideal de la ciencia libre de valores, el cual propone que aquellos valores deben ser ajenos a la práctica científica.

Dicha discusión, en general, parte de la base de la distinción entre valores epistémicos y extra epistémicos. En palabras de Thomas Kuhn, un valor epistémico es “*un criterio estándar para evaluar la adecuación de una teoría*” (1977, p. 322). Dentro de éstos se podrían encontrar valores como precisión, consistencia, alcance amplio, simplicidad y fecundidad (pp.321-322)<sup>1</sup>. Aquellos serían criterios, ya que, a diferencia de las reglas, los valores epistémicos carecerían de rigidez, puesto que cada científico los debiese sopesar en el mérito de la investigación en particular, pudiendo priorizar unos por sobre otros (p.331). De este modo, los señalados criterios no tan sólo permitirían evaluar externamente una teoría para juzgarla como adecuada o inadecuada, sino que también serían las herramientas epistémicas que habría de utilizar el científico para construir su teoría en cuestión.<sup>2</sup>

Los valores extra epistémicos, en cambio, serían aquellos valores morales, políticos o sociales, que se relacionan con lo que deseamos respecto al individuo, su conducta, la sociedad y su organización; o bien, en términos más sencillos, serían aquellos valores culturales, sociales y personales relativos a lo que deben ser las cosas (Longino, 1990, pp.4-5). Por ejemplo, un valor moral sería considerar la felicidad de los humanos como la finalidad de los mismos; un valor político, considerar que los gobiernos deben propender al bienestar de los gobernados; y un valor social, considerar que la sociedad debe organizarse en aras de generar la mayor integridad entre sus miembros.

Al respecto, hoy en día, hay quienes sostienen la exclusividad de criterios epistémicos en las ciencias, al menos para poder determinar si una teoría es imparcialmente sostenida respecto a un conjunto de fenómenos, lo cual sería distinguible de la adopción de una teoría, momento en que sí serían admisibles valores de otra índole, como políticos y sociales (Lacey, 2017). Un ejemplo para ilustrar dicha distinción podrían ser los cultivos genéticamente modificados. El hecho de ser genéticamente modificados los hace resistentes a ciertos herbicidas, lo cual podría ser imparcialmente sostenido; pero ello no habría de implicar que necesariamente se deba aceptar su adopción en un caso particular, en parte por los riesgos que conlleva o bien porque existen otras técnicas de cultivo que tienen un mayor valor social asociado (pp.20-21).

Respecto a este debate y en contra de posturas que proponen a las ciencias como una actividad libre de valores extra epistémicos, destacan los aportes que se han realizado desde el *pluralismo científico*, corriente que acepta una variedad de teorías respecto a un mismo conjunto de fenómenos. Para ilustrar dicha corriente pluralista, puede pensarse en el estudio biológico sobre la agresividad en los seres humanos, el cual podría orientarse desde una perspectiva evolutiva, genética u

<sup>1</sup> En cuanto a qué significan cada uno de esos términos, véase Kuhn (1977, pp.321-322).

<sup>2</sup> Tomando en consideración el enfoque historicista de Kuhn, uno podría perfectamente preguntarse si es que dicho autor no hubiese aceptado la inclusión de otros valores o criterios distintos de los epistémicos, por más que no lo haya mencionado específicamente. Según Helen Longino, una autora que afirma la presencia de valores extra epistémicos en las ciencias, Kuhn, contrario a algunos de sus seguidores, habría abogado por la presencia exclusiva de valores de orden epistémico (1990, p.32).

hormonal; pues bien, desde la perspectiva pluralista se daría la bienvenida a dicha variedad de aproximaciones, sin necesidad de tener que comprometerse con una única *verdad* que explique la totalidad del fenómeno. La aproximación pluralista, a su vez, pareciera ser más compatible con la aceptación de una carga valorativa extra epistémica en las ciencias.

Es importante señalar, ante de continuar, que no existe una conexión necesaria entre pluralismo científico y la aceptación de valores extra epistémicos en el razonamiento científico, además de que los diversos autores que adscriben a dicha corriente pluralista no tienen la misma opinión al respecto. En efecto, perfectamente puede existir una postura pluralista de las ciencias que rechace la carga valorativa extra epistémica de las ciencias, en el sentido de que se acepten una pluralidad de aproximaciones científicas respecto a un mismo conjunto de fenómenos, pero que deje fuera de las ciencias a aquellas prácticas que se encuentren influenciadas por valores extra epistémicos. Sin embargo, la perspectiva pluralista pareciera ser la corriente idónea para abrirse a la posibilidad de estudiar ciertas áreas de las ciencias o determinados casos científicos en donde sí existe una influencia de valores extra epistémicos, sin tener la necesidad de responder de un modo tajante si es que aquella circunstancia se da en todas las ciencias o no, o si dicha influencia es siempre negativa o positiva.

Continuando con el pluralismo científico, algunos autores, como John Dupré, sitúan aquella carga extra epistémica en prácticas científicas que atañen cuestiones humanas o que *nos importan*, como la medicina o la biología (Kinkaid et al., 2007). Otros autores, en cambio, hacen extensiva aquella carga extra epistémica a la generalidad de las ciencias, ya sea porque no existe una conexión necesaria entre la evidencia y la hipótesis –de modo que el agente deberá completarlo con sus creencias de fondo–, o bien por la existencia de las llamadas suposiciones globales, que implicarían en definitiva la aceptación de ciertos valores epistémicos por su afinidad con ciertos valores de otra índole (Longino, 1990). Dentro de la misma perspectiva pluralista, existen propuestas concretas, como la de Heather Douglas (2009), quien da cuenta de un modo específico la manera en que los valores extra epistémicos pueden tener cabida en la práctica científica, tomando en especial consideración la importancia de su inclusión cuando se está en presencia del llamado *riesgo inductivo*: posibilidad de causar daño en caso de ser falsa la hipótesis en cuestión.

Considerando esta discusión como contexto, a saber, la relación entre las prácticas científicas y las consideraciones extra epistémicas, se encuentra la discusión en torno a los límites que se han de poner a las investigaciones científicas con el fin de proteger ciertas consideraciones que, se podría afirmar, exceden el razonamiento científico, como lo es el caso de ciertas conclusiones cuyo contenido pudiese atentar contra la dignidad o el interés de ciertos grupos sociales. Esta circunstancia resulta importante, ya que puede considerarse una clara manifestación de una colisión entre valores epistémicos y extra epistémicos. En estos casos, la búsqueda de la verdad o el entendimiento del mundo, según como se quiera ver, se verían limitados por consideraciones morales, políticas o sociales, lo cual demostraría la falta de prioridad epistémica por sobre otros criterios que exceden dicho campo, o al menos daría cuenta de la necesidad de compensar unos y otros criterios:

En casos ideales, no necesitamos prioridad epistémica, porque podemos satisfacer con éxito tanto los estándares epistémicos como los valores sociales. En los casos no ideales, hay varias razones por las que los científicos pueden tomar decisiones no ideales en las que los estándares epistémicos y los valores no epistémicos tiran en direcciones opuestas. Tales casos generalmente no justifican la prioridad epistémica. (Brown, 2017, p.68)

De esta manera, en el campo de los hechos, puede darse la colisión señalada, y resulta del todo relevante realizar una aproximación crítica al respecto, haciéndose cargo de un modo riguroso de consideraciones tanto explícitas como implícitas que pueda haber al respecto. La relevancia está dada por dos fenómenos que, podría afirmarse, se encuentran hoy en día en auge: por un lado, el avance inexorable de la ciencia moderna, la cual, reclamando un método experimental y observacional propio, ha ido inundando más y más aspectos de la vida humana, llegando a ocupar un lugar de relevancia y utilidad difícil de comparar en la sociedad humana; y, por otro lado, se encuentra la visibilidad y capacidad de acción política que han adquirido distintos grupos sociales históricamente excluidos, postergados y/o discriminados, desde minorías étnicas y disidencias sexuales, hasta grupos en ningún caso minoritarios, como lo son las mujeres.

Tomando en consideración estos antecedentes, el presente trabajo se estructurará de la siguiente manera: en primer lugar, se dará cuenta de algunos argumentos que se han sostenido para justificar la preeminencia de las consideraciones morales, políticas o sociales en las ciencias. Luego, se desarrollarán argumentos en torno a los siguientes aspectos: a) la influencia de los juicios morales en las *verdades* que describen el mundo, b) el entrelazamiento entre hechos y valores, y c) la responsabilidad del científico en tanto sujeto moral. Con el fin de dar curso a dichos argumentos, se utilizarán como ejes dos casos, uno hipotético y otro histórico; el primero de ellos se refiere a una investigación que en la actualidad concluyera que la raza sí es un factor determinante en la inteligencia de las personas, y el segundo se refiere a la categoría psiquiátrica que la homosexualidad tuvo hasta no hace muchos años en occidente. Finalmente, se procurará dar una solución a las disyuntivas planteadas bajo una perspectiva que sea coherente con una postura pluralista de las ciencias.

Por último, antes de continuar, es necesario hacer la siguiente salvedad: con la finalidad de hacer más sencillo y abordable el tópico a exponer, se asumirá la distinción entre dos procesos que ocurren al interior de las prácticas científicas, a saber, por un lado, el proceso de validación del conocimiento y, por otro lado, el proceso de evaluación de las consecuencias del conocimiento producido. Como podrá anticiparse, aquella distinción puede parecer en extremo ideal, como si la actividad científica fuese un proceso perfectamente compartimentado, cuestión que, probablemente, en la mayoría de los casos no sea así, al menos en el tipo de investigaciones que nos ocuparán en este trabajo, es decir, en aquellas investigaciones que podrían contener conclusiones socialmente indeseables. Sin embargo, se ha decidido optar por mantener dicha distinción, al menos en el desarrollo de este trabajo en particular, para no sumar variables adicionales que puedan oscurecer el problema que se pretende abordar.

## **2. Límites extra epistémicos en las investigaciones científicas**

Hoy en día difícilmente alguien estaría dispuesto a afirmar que no debiesen existir limitaciones morales a la experimentación científica, ya sea respecto a seres humanos o a seres sintientes en general, pero lo relevante en este caso es que si se aceptan dichas limitaciones se debiese igualmente estar dispuesto a aceptar otras tantas. En este sentido Heather Douglas afirma que ponemos "*límites al uso de humanos (y ahora animales) en la investigación, lo que indica que no estamos dispuestos a sacrificarlo todo por la búsqueda de la verdad*" (2009, p.76), argumento que se podría extender y utilizarse no tan solo para limitar las experimentaciones con humanos o animales, sino aplicarlo a conclusiones de investigaciones que puedan afectar a determinados grupos humanos: "*¿Puede este deber [tratar de determinar verdades significativas sobre la naturaleza] anular las preocupaciones sobre las consecuencias para los desafortunados? Yo creo que no*" (Kitcher, 2001, p.103).

En este orden de ideas, Philip Kitcher, quien también adscribe al pluralismo científico y reconoce la presencia de valores extra epistémicos en las ciencias, se pregunta sobre las limitaciones provenientes de consideraciones valorativas extra epistémicas que deben tener las investigaciones científicas, particularmente respecto a lo que se pueda o no proponer como conclusión dentro de investigaciones sociobiológicas, cuando aquellas conclusiones pudieran sustentar las llamadas diferencias *naturales* entre distintos grupos, como diferencias de raza o de género. Apelando a Mill, sostiene Kitcher, se podría defender a ultranza la libertad de investigación en conexión con la defendida libertad de expresión; advierte, sin embargo, que, aun siguiendo al mismo autor utilitarista, se debiese concluir que dicha libertad ha de limitarse cuando pueda afectar una libertad más fundamental de los humanos, la cual es la libertad de definir y perseguir su propia visión de lo que es bueno (Kitcher, 2001, pp.93-96).

El mismo autor propone que si una investigación va a desmejorar la situación social de un grupo menos privilegiado, no debiese llevarse dicha investigación a cabo, ya que, en resumidas cuentas, la discusión al respecto no se llevaría dentro de un marco ideal. En todo caso, también advierte las consecuencias dañinas de prohibir ciertas investigaciones, ya que haría crecer más el prejuicio contra determinados grupos. En definitiva, afirma que la libertad de investigación es en general buena, pero deben existir límites cuando ésta pueda afectar la posición de determinados grupos menos privilegiados, ya que la búsqueda de la verdad no es el único valor en juego. Finalmente, este autor apela a la responsabilidad social del científico, ya que la ciencia hoy en día no se encontraría *bien ordenada*<sup>3</sup>, por cuanto no existirían los mecanismos institucionales que permitan sortear de un modo satisfactorio aquellas disyuntivas, además de lo indeseable que es censurar ciertos conocimientos (pp.96-108).

Siguiendo la misma línea argumentativa, puede pensarse en un psicólogo que estuviese investigando sobre los factores que contribuyen a la inteligencia, y luego de reunida la evidencia, ésta sugiriera que la raza sí es un factor preponderante en la inteligencia, independiente del estatus socioeconómico o nivel de educación (Brown, 2017). Se podría pensar que, si la evidencia ha sido recabada y analizada de un buen modo, este psicólogo no tendría por qué abstenerse de publicar su descubrimiento. Sin embargo, las consecuencias negativas de tal acto sobre ciertos grupos no son difíciles de advertir, además de pasar a llevar ciertos valores no epistémicos que no estaríamos dispuestos a transgredir, como la *igualdad racial* o la *no discriminación racial*, por más epistémico que sea un descubrimiento<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Al respecto, Philip Kitcher, en su obra *Science, Truth, and Democracy* (2001), dedica un capítulo a lo que él entiende por ciencia bien ordenada (pp.117-135). Una ciencia bien ordenada debería abordar de un buen modo interrogantes relativas al modo en que se deben asignar los recursos a las investigaciones científicas, a la restricciones morales de las mismas, como asimismo el modo en que se deban aplicar; advierte, sin embargo, los evidentes riesgos de una *democracia vulgar* en las ciencias, por cuanto las “*preferencias de la gente a menudo se basan en el impulso o la ignorancia y, por lo tanto, se apartan de favorecer lo que realmente sería bueno para ellos*” (p.117). Propone como mecanismo ideal la llamada *democracia ilustrada*, la cual “*supone que las decisiones las toma un grupo que recibe tutoría de expertos científicos y acepta aportes de todas las perspectivas que están relativamente extendidas en la sociedad: en efecto, fomenta una versión condensada del proceso de deliberación ideal que he esbozado*” (p.133); aquello sería preferible tanto al elitismo interno o externo, como también a la democracia vulgar.

<sup>4</sup> De más está decir que el concepto de raza al interior de la especie humana es, en sí mismo, discutible desde una perspectiva científica, en el sentido de que la especie humana en su totalidad sería una raza, y lo que usualmente se designa –o se solía designar– como raza, no serían sino diferentes etnias al interior de la especie humana. Al respecto, se puede consultar la declaración del a UNESCO titulada *La cuestión racial*, del año 1950, en donde se afirma que desde una perspectiva biológica la raza se identificaría con la especie humana, sugiriendo como conveniente renunciar a al término *raza* y adoptar, en su lugar, el término *grupo étnico*: “*Los grupos nacionales, religiosos, geográficos,*

En este caso hipotético, el psicólogo en cuestión, motivado por valores no epistémicos, tendría muy buenas razones para someter a una revisión más crítica y rigurosa la evidencia reunida y los conceptos utilizados como *raza* e *inteligencia* (Brown, 2017, p.73). Ahora bien, es legítimo preguntarse qué ocurriría si, luego de someter a revisión crítica dicha investigación, llegase a la misma conclusión, ¿debiese abstenerse de publicarlo? O sin apelar exclusivamente a la responsabilidad individual del científico, la institución a cargo de aceptar o no aquella publicación, ¿debiese desechar aquella publicación?

La respuesta que se pueda dar, sobre todo a la última pregunta, no es sencilla, puesto que, como se señaló más arriba, la libertad de expresión y de investigación se encuentran directamente relacionadas, además de ser un baluarte de las democracias liberales, las cuales en gran medida han resguardado y potenciado el desarrollo científico en el último par de siglos. Dichas democracias liberales sí ponen límites, por ejemplo, a la decisión de la mayoría, a través de los derechos fundamentales que no pueden ser pasados a llevar por simple mayoría<sup>5</sup>, quedando claro que distintos valores en juego son sopesados con la finalidad de resguardar el bienestar general o el bien común, según como se vea. Pero lo llamativo en este caso es que la libertad de expresión justamente es consagrada como un derecho fundamental que ha de poner límite a la voluntad de la mayoría o a cualquiera que tenga la capacidad para poner en riesgo aquel derecho.

En virtud de lo recién señalado, restaría preguntarse en razón de qué derecho, en el caso de las investigaciones científicas, estaríamos dispuestos a censurar ciertas investigaciones que puedan desmejorar la posición de ciertos grupos sociales, por más *rigurosas* que sean. En el caso de Chile, el asunto está de algún modo contemplado en el resguardo de la integridad física y psíquica consagrado en la Constitución, particularmente en la reforma introducida en octubre del año 2021, al disponer que el desarrollo científico y tecnológico se encuentra al servicio de la persona y que se llevará a cabo respetando la vida y la integridad física y psíquica de las mismas<sup>6</sup>.

*lingüísticos y culturales no coinciden necesariamente con los grupos raciales; y los rasgos culturales de dichos grupos no tienen ninguna relación genética con las características raciales que pueden ser demostradas. Como se cometen ordinariamente graves errores de este género al emplear en el lenguaje corriente el término «raza», sería conveniente renunciar a su empleo de manera definitiva cuando se habla de las razas humanas, y adoptar la expresión grupos étnicos.”* (UNESCO, 1950, p.6). Para efectos del presente trabajo, cuando se utilice el término raza se estará haciendo referencia a grupo étnico, en el sentido recién indicado. Por otro lado, desde una perspectiva de la aplicación práctica del concepto de raza al interior de la especie humana, se debe tomar en consideración que su utilización ha sido al menos funcional a ciertos intereses en determinados contextos históricos, tales como la colonización y la esclavitud; en dicho sentido, por más que en sí mismo el término *raza* procure –o haya procurado- dar cuenta de una realidad concreta –tales como las diferencias al interior de una misma especie-, pareciera ser que su contenido ha escapado de aspectos meramente descriptivos, al menos en el caso de su aplicación a la especie humana.

<sup>5</sup> Como bien señalara Luigi Ferrajoli, los derechos fundamentales consagrados en la Constitución son un claro límite a la democracia, ya que sustrae de la deliberación de la mayoría ciertos asuntos que se consideran de especial valor (2004, pp.50-54). Bajo esta mirada, en términos sencillos, mientras más derechos fundamentales hayan, menos democracia habrá, entendida ésta en su sentido procedimental como voluntad de la mayoría; otra cuestión sería apreciar la democracia en su sentido *sustancial o material* y entender los derechos fundamentales no como una limitación a dicho sistema de gobierno, sino como un potenciador del mismo, pero para objetos del argumento en comento nos mantendremos con el término democracia entendido en su sentido procedimental.

<sup>6</sup> En efecto, la Constitución chilena –aún- vigente, asegura a todas las personas en su numeral 19 número 1, el derecho a la vida y a la integridad física y psíquica de las personas, y, específicamente, en la reforma constitucional publicada en el diario oficial con fecha 25 de octubre del año 2021, se agregó el siguiente inciso: “*El desarrollo científico y tecnológico estará al servicio de las personas y se llevará a cabo con respeto a la vida y a la integridad física y psíquica. La ley regulará los requisitos, condiciones y restricciones para su utilización en las personas, debiendo resguardar especialmente la actividad cerebral, así como la información proveniente de ella*”. Por su parte, el artículo

Antes de continuar profundizando respecto a las *conclusiones indeseables* de ciertas investigaciones científicas, es necesario mencionar que existen posturas que, reconociendo la presencia de valores sociales en las ciencias, abogan por la prioridad epistémica por sobre los valores sociales. Tal es el caso de Daniel Steel (2017), quien afirma que en ciertos casos calificados sí han de primar valores sociales por sobre los epistémicos, como ocurre en los límites morales que se ponen a la experimentación con seres humanos, pero que aquello no debiese entenderse en menoscabo de las ciencias, si es que se entiende el rol social de las ciencias como aquel que procura mejorar el bienestar humano a través del avance del conocimiento (pp.61-62). Sin embargo, aquella postura pareciera no resolver de antemano el dilema planteado en esta sección, puesto que, si bien incluye conceptualmente el bienestar humano dentro de los fines de las ciencias, no entrega suficientes luces sobre el alcance que dicho *bienestar humano* ha de contemplar, sobre todo en los casos que no estemos tratando con la experimentación humana, sino en los casos de las llamadas *conclusiones indeseables*.

### 3. Conclusiones indeseables

El caso planteado en la sección anterior, respecto al psicólogo que encuentra diferencias de inteligencia que tienen por causa la raza y que podría poner en riesgo a determinados grupos, puede parecer excesivamente hipotético o incluso repugnar la consciencia de más de alguna persona. Estas apreciaciones, a su vez, podrían estar fundadas en distintas circunstancias, como por ejemplo: a) estimar que, de hecho, no existe tal diferencia de inteligencia asociada a la *raza* de una persona; b) considerar que el concepto de *inteligencia* se encuentra indefectiblemente asociado a una serie de juicios de valor de modo tal que su aplicación para tales fines resulta estéril; y c), podría existir la consideración de que investigaciones de tales características, al no aportar ningún valor social, no se justifica que se lleven a cabo y menos que se publiquen.

Respecto a las consideraciones de tipo a), podría centrarse la atención en las falencias de cualquier tipo de investigación que pretenda imponer causalidad allí donde únicamente hay correlación. Tal sería el caso, por ejemplo, de un estudio que pretenda abarcar la relación entre comportamiento en niños y carga hormonal, y que dejara afuera otros elementos relevantes influyentes en el comportamiento humano:

Un estudio que simplemente mida estas dos diferencias para encontrar una correlación sería inadecuado por varias razones. Primero, una mera correlación entre el comportamiento y las hormonas nos dice poco sobre la causalidad, ya que también sabemos que el comportamiento puede cambiar los niveles hormonales. En segundo lugar, sabemos que existen otros factores importantes en el comportamiento además de las hormonas, como las expectativas sociales. Un estudio que simplemente examina esta relación correlativa sólo nos dice algo interesante en el contexto de la presunción de que las hormonas determinan el comportamiento. Si uno asume esto, estructura deliberadamente el estudio para excluir el examen de otras posibilidades, y luego afirma que los resultados muestran que las hormonas determinan el comportamiento, los

19 número 12 de la misma Carta Fundamental, consagra de manera irrestricta la libertad de expresión, sin perjuicio de la responsabilidad legal que en dicho ejercicio pueda incurrir: “[La Constitución asegura a todas las personas] *La libertad de emitir opinión y la de informar, sin censura previa, en cualquier forma y por cualquier medio, sin perjuicio de responder de los delitos y abusos que se cometan en el ejercicio de estas libertades, en conformidad a la ley, la que deberá ser de quórum calificado.*”

valores habrán jugado un papel directo inadecuado en la selección del área de investigación y la metodología. (Douglas, 2009, p.100)

En dicho caso se estaría salvaguardando un criterio científico conforme al cual un conjunto de cosas podrá ser considerado válidamente como evidencia únicamente si fueran capaces de producir un resultado negativo en caso de que la hipótesis fuese falsa (Steel y Whyte, 2012); o dicho de manera más sencilla, si la evidencia recaudada únicamente es apta para confirmar una hipótesis, no estaríamos en presencia de un procedimiento genuinamente científico, por cuanto se debe buscar allí donde la hipótesis se pueda ver desafiada.

De esta manera, un estudio en concreto que busque medir diferencias de inteligencia asociadas a la raza entre dos o más grupos, podría ser un terreno fértil para *imponer* dichas causalidades allí donde sólo hay correlación. Ahora bien, podemos preguntarnos qué ocurriría si, enriquecida la evidencia de modo tal que pueda servir para concluir un resultado contrario –el en caso hipotético que nos ocupa, que la raza no es un factor determinante en la inteligencia de las personas–, luego, nuevamente, se arribe a la conclusión *indeseable*, a saber, que la raza sí es un factor determinante en la inteligencia de las personas.

En las consideraciones de tipo b), lo que se debiese ajustar no sería tanto la evidencia, sino el concepto que se utiliza a la base de la investigación, a saber, en el caso que nos ocupa, el concepto de inteligencia. En dicho caso, o bien se logrará enriquecer el concepto de modo tal que pueda dar cuenta de manera más omnicomprendiva el fenómeno de la inteligencia, o bien, se terminará desechando, por tratarse de un concepto que ineludiblemente dejará a un grupo racial en *desventaja* respecto del otro, en el sentido de que podría fundamentar la aseveración de que los miembros de tal o cual raza son menos inteligentes que los miembros de otra, siendo la raza el elemento fundante de tal diferencia.

Por último, en relación a las consideraciones de tipo c), la verdad es que no sería necesario ninguna clase de ajuste, puesto que el tipo de conclusiones a las que se pueda arribar serían, de ante mano, irrelevantes, por lo cual debiesen desecharse tales tipos de investigaciones; vale decir ¿qué podría aportar a la sociedad en general o a los grupos raciales en cuestión, el hecho de que se investiguen tales aspectos? Pareciera que el aporte sería bastante bajo, o incluso negativo. En este caso, se estaría poniendo mayor valor a la utilidad social de tal o cual descubrimiento científico, por sobre el afán de *descubrir* ciertas verdades del mundo.

Bajo esta última línea de argumentación, deberían desecharse aquellas investigaciones científicas que no *añaden* ningún valor social; ahora bien, el hecho de que exista o no dicho valor, innegablemente puede ser susceptible de ser debatido. A modo de ejemplo, podemos centrarnos en un caso del año 2017, en donde un estudio publicado en la revista *Nature* concluyó que el embarazo produce en las mujeres cambios sustanciales en la estructura del cerebro, principalmente reducciones en el volumen de materia gris; lo cual, en todo caso, sería reversible (Hoekzema et al., 2017). Aquella afirmación, podría esgrimirse, sería capaz de generar consecuencias negativas sobre las mujeres, por cuanto contribuiría a revivir un viejo prejuicio en contra de las mismas, en el sentido de que, en tanto mujeres, serían *esencialmente* menos inteligentes que los hombres, al menos durante cierto periodo de su vida; aquello, a su vez, se derivaría a partir de la correlación entre materia gris y capacidad cognitiva.

Ahora bien, podría contra argumentarse que las consecuencias negativas respecto a las mujeres a partir de un estudio como el recién mencionado no son tales, puesto que el estudio en sí mismo no estaría sugiriendo ninguna actitud capaz de atentar contra el interés de las mujeres en tanto grupo

social; por el contrario, contar con aquella información podría ser relevante, sobre todo si se toma en consideración el desarrollo de otras cualidades durante el embarazo y la lactancia maternas. Esto último, a su vez, podría argüirse, sería compatible con posturas feministas que buscan un trato acorde a hombres y mujeres, tomando en consideración las diferencias entre los mismos, es decir, asumiendo las diferencias innegables entre un grupo y otro, pero reafirmando el trato igualmente digno que merecen. Sea como sea, dicha investigación sí se publicó y sigue estando disponible.

De esta manera, volviendo sobre el caso hipotético que nos ocupa, si se llegase a *descubrir* que sí existen diferencias que tengan sustento en la raza de los individuos, deberíamos preguntarnos si es que aquella circunstancia podría o no traer aparejadas consecuencias indeseables en el plano social respecto a determinado grupo social. En dicho caso particular, la verdad es que parece difícil poder derivar una consecuencia positiva o no dañina; sin embargo, debiésemos estar dispuestos a debatir al respecto, en el sentido de recibir argumentos que intenten dar cuenta del beneficio social que de ello pudiese provenir. Ahora bien, nuevamente, no queda claro el modo en que debiese resolverse dicha eventual controversia.

#### **4. Entrelazamiento entre hechos y valores/ ser y deber ser**

A propósito de las *conclusiones indeseables* que puedan afectar a ciertos grupos menos privilegiados, puede pensarse en algo tan básico para un sector amplio de la sociedad como que las personas homosexuales no deben ser discriminadas en base a su orientación sexual. Dicha noción, puede pensarse, alguna relación ha de tener con la aseveración científica de que la homosexualidad no es una enfermedad, una desviación o una patología, aunque claramente no siempre fue así, puesto que, como es de público conocimiento, no fue sino hasta el año 1973 que la Asociación Americana de Psiquiatría eliminó a la homosexualidad como patología dentro de su manual diagnóstico, y luego en el año 1990 la Organización Mundial de la Salud eliminó su carácter de enfermedad.

De esta manera, podría afirmarse, el criterio normativo conforme al cual una persona no debe ser discriminada en base a su orientación sexual, por lo menos se ve reforzado con la aseveración científica de que la homosexualidad no es una enfermedad mental. En sentido contrario ¿podría alguien afirmar, coherentemente, que la homosexualidad es una enfermedad o una desviación, y al mismo tiempo proponer que dicha conducta deba aceptarse y reivindicarse? O viceversa, ¿podría afirmarse que la homosexualidad no es una desviación y que, sin embargo, sí se debiese juzgar como una conducta indeseable?

Lo recién planteado puede recordar el antiguo debate en torno a la relación entre las aseveraciones de tipo *es* –en este caso, la homosexualidad *es* o *no es* una enfermedad- y las aseveraciones de tipo *debe* –en este caso, la homosexualidad *debe ser* aceptada, tolerada o desincentivada, por ejemplo. Al respecto, pareciera haber quedado suficientemente zanjado el debate en filosofía, en el sentido de que no es *lícito* derivar una conclusión de tipo *debe* a partir de premisas de tipo *es*<sup>7</sup>. En este sentido, por más que una conclusión científica de tipo *es* asevere tal o

---

<sup>7</sup>Nos referimos a la llamada *Ley de Hume*, entendida como la denuncia inaugurada por David Hume, en el sentido de la imposibilidad lógica de derivar el *deber ser* a partir del *ser*, al menos de manera deductiva (Hume, 1740/1984, pp.689-690), y más tarde especificada por G.E. Moore, bajo el nombre de *falacia naturalista*, cuando estamos en presencia de la inferencia de propiedades morales a partir de propiedades naturales (1903/1993). Pareciera haber quedado zanjado dicho debate, sin embargo, como muchos tópicos en filosofía, el debate pareciera ser interminable. Al respecto, puede revisarse las obras de MacIntyre, *Hume on “is” and “ought”* (1959) y *Tras la virtud* (2007).

cual cosa, en ningún caso ello ha de implicar que se *debe* adoptar tal o cual conducta como consecuencia de lo primero.

Sin embargo, cuando lo pensamos en el sentido inverso, pareciera no ser tan sencillo: las nociones morales sí podrían estar informando nuestra forma de entender el mundo y difícilmente podría ocurrir de otro modo; aquello, a su vez, sería evidente en las actividades científicas que sí atañen cuestiones humanas, como la biología, la medicina y la psiquiatría en particular. En esta línea, en relación al ejemplo planteado sobre la homosexualidad, perfectamente pudo ocurrir que los psiquiatras, premunidos de sus juicios valorativos negativos respecto a la homosexualidad, hayan establecido una causalidad entre dicha *conducta* y los *síntomas* que podían apreciar, sin reparar que muchos de aquellos *síntomas* podían ser en realidad consecuencia de la discriminación social sufrida, o derechamente se catalogaban como síntomas porque se partía de la base de una patologización de cierta conducta humana que necesariamente tenía que producir ciertas alteraciones en el paciente<sup>8</sup>.

En este línea, se podría plantear que ciertos conceptos psiquiátricos, como hasta hace poco tiempo lo fue la homosexualidad, se tratarían de conceptos en disputa, y que la circunstancia de que personas homosexuales hayan adquirido visibilidad y capacidad de acción política permitió, a su vez, que se repensara una *verdad* científica hasta entonces asumida, dejando de verse síntomas donde no tenía por qué haberlos y permitiendo, por ende, legitimar el vínculo sexual y afectivo entre personas del mismo sexo. De este modo, habría una influencia política y moral en conceptos psiquiátricos, no porque la psiquiatría no sea una ciencia, sino porque justamente se trata de una ciencia que atañe cuestiones, como diría John Dupré, que *nos importan* (2007, pp.31-32). En este sentido, al igual que la medicina y la biología sexista del siglo XX, que necesitó ser integrada por una perspectiva de género (Anderson, 1995), la psiquiatría hubo de integrar una perspectiva distinta que le hiciera replantearse ciertos dogmas que por sí sola, por más apegados que se hubieran encontrado a la evidencia, no podrían haberlo conseguido.

En un sentido contrario a las posturas que se han venido desarrollando en este trabajo, podría afirmarse que una mejor comprensión del mundo no podría hacernos mal; es más, habría sido ese afán empecinado en entender el mundo independientemente de los constreñimientos morales o políticos de tal o cual época, lo que habría permitido en cierta medida el progreso científico<sup>9</sup>. En esta línea, si un estudio científico serio y riguroso llegase a concluir, en la actualidad, que la homosexualidad sí es una enfermedad mental, no tendría por qué censurarse u objetarse; la misma suerte debiese correr una investigación científica igualmente seria y rigurosa que llegase a concluir que la raza sí es un fundamento de diferencia de inteligencia entre las personas. Dicho planteamiento podría verse reforzado si es que se parte de la base que tal o cual *descubrimiento* nada nos dice sobre qué postura debiésemos asumir al respecto, como que las personas homosexuales o de una raza distinta debiesen ser discriminadas, ya que los *descubrimientos* señalados se tratarían de juicios de tipo *es*, de los cuales no se pueden derivar juicios de tipo *debe*.

Sin embargo, pareciera ser que ciertos juicios supuestamente descriptivos, tales como *enfermedad mental*, contienen elementos marcadamente normativos, de modo tal que sería al menos

---

<sup>8</sup> A su vez, las nociones morales negativas respecto a la homosexualidad podrían tener su base en el hecho de que la unión sexual entre personas del mismo sexo es naturalmente incapaz de generar reproducción de la especie, lo cual se relaciona directamente con la llamada *falacia naturalista*.

<sup>9</sup> Puede recordarse el caso de Galileo, quien se convirtió en el ícono moderno del desarrollo científico, lo cual pareciera ser en cierto sentido inseparable a la circunstancia de haberse atrevido a desafiar las tesis sostenidas por la propia Iglesia Católica.

inocente suponer su inocuidad. Al respecto, puede convenir traer un argumento de Hilary Putnam, recogido en su trabajo *El colapso de la dicotomía hecho/valor y otros ensayos* (2002), en el cual se hace cargo de la falsa dicotomía entre juicios analíticos y sintéticos planteada por Quine en su conocido ensayo *Dos dogmas del empirismo* (1951), extrapolándolo a la distinción entre hechos y valores. Al respecto, Putnam afirma que, si bien es válida la distinción entre juicios analíticos y sintéticos, aquella distinción no es dicotómica, por cuanto habría casos en que dicha distinción no es aplicable, para lo cual trae a colación la noción de Kant sobre los principios matemáticos, que son definidos por éste como juicios a priori y, sin embargo, sintéticos, lo cual sería incomprensible para una visión positivista lógica (2002, pp.9-11). Al respecto, Putnam sostiene que el positivismo lógico habría cogido una versión inflada de Hume, asumiendo por parte de dicha corriente que los juicios pueden ser analíticos -relación entre ideas- o bien sintéticos -cuestiones de hecho-, ampliando los primeros -como en el caso de las matemáticas-, y dejando los juicios morales como una mera expresión volitiva sin relevancia cognitiva.

En concreto, Putnam propone *desinflar* la dicotomía entre hechos y valores que se sigue de esta línea, asumiendo que sí hay una distinción que se debe hacer entre ambos campos, pero que nada metafísico se seguiría de ello (pp.16-19). En la misma línea, este autor afirma que el empirismo clásico y el positivismo lógico habrían fallado en apreciar el modo correcto en que los hechos y los valores pueden y deben estar entrelazados (pp.26-27); un ejemplo claro del entrelazamiento entre hechos y valores podría apreciarse en la expresión *cruel*, que por más que se refiera a una descripción de un hecho, no está exenta de una carga valorativa de desaprobación (pp.34-35).

Respecto a esto último, a saber, el entrelazamiento entre hechos y valores, se podría hacer el mismo ejercicio en relación a ciertas categorías científicas, como lo son enfermedad o trastorno mental. Podría plantearse que, por más que se procure describir objetivamente un conjunto de alteraciones en la psiquis de las personas, no por eso deja de existir un juicio de desvalor respecto a tal o cual conducta, ya sea porque es dañina para el sujeto en cuestión o para el entorno social, lo cual indefectiblemente guardará relación con lo que se pueda juzgar como deseable, ya sea respecto al individuo o a la sociedad, todo lo cual excede el campo puramente descriptivo de los hechos. Y así, podría hacerse el mismo ejercicio respecto a la categoría *inteligencia*, en el sentido de que a la base de dicha categoría existen una serie de juicios de valor que en definitiva aprueban o desaprueban ciertos procesos cognitivos o mentales por sobre otros. De esta manera, descripciones científicas como las mencionadas estarían entrelazadas con valoraciones normativas; aquello, sin embargo, como se señaló más arriba, no le quitaría el carácter de ciencia, sino simplemente nos recordaría que se trata de ciencias que atañen directamente cuestiones humanas<sup>10</sup>.

<sup>10</sup> Al respecto, se debe tomar en consideración, para una mejor comprensión del fenómeno, que la interrelación entre hechos y valores no se daría únicamente en las ciencias que atañen directamente cuestiones humanas, sino que, en estas últimas, sería tan sólo más evidente. Así, en un sentido amplio, podemos señalar que no existe un acceso directo al mundo exterior que se encuentra fuera de nuestra consciencia, puesto que es a través de ella que podemos llegar a conocer, siempre de un modo humano, aquel mundo que nos rodea. Según una versión de esta perspectiva, se puede afirmar que somos nosotros quienes determinamos los estándares bajo los cuales algo puede o no constituir un hecho, y no al revés. Es decir, no son los hechos en su propio mérito quienes revelan su naturaleza de ser un hecho, sino que somos nosotros quienes, a través de ciertos valores, juzgamos aquella circunstancia. Así, para dar un ejemplo científico, al construir una taxonomía biológica, no se introduce una terminología respecto de algo que previamente está allí; por el contrario, es el científico quien introduce un criterio de semejanza o diferencia que le permite llegar a dicha conclusión -a través de un juicio de valor-, puesto que cualquiera clase de dos cosas son en algunos sentidos semejantes y en otros diferentes (Elgin, 1996, pp. 86-87). En un sentido más restringido, podríamos afirmar que, al momento de construir una teoría científica y determinar su adecuación, aquello no se hace de un modo directo, relacionándose con los hechos sin

## 5. Una aproximación pluralista

Como se señaló en la primera sección de este trabajo, el pluralismo científico pareciera ser una postura que nos permite abordar de un buen modo dilemas como los recién planteados. Así, su *pluralismo* puede permitir adentrarse en cada caso particular, sin tener la necesidad de dar una respuesta general y homogénea, puesto que, bajo el entendimiento de dicha corriente, no existe tal cosa como *la* ciencia, sino *las* ciencias, obviamente unidas por ciertos elementos comunes<sup>11</sup>, pero todas ellas con notables particularidades entre sí, en mayor o menor medida.

En efecto, existirían las ciencias, de modo tal que, en disciplinas como la física de partículas, difícilmente pudiesen existir descubrimientos científicos teóricos que por sí mismos puedan afectar la dignidad de determinados grupos sociales, y aquello probablemente esté ligado a la circunstancia de que en tanto disciplina se rige exclusivamente por criterios epistémicos; aquello, a su vez, probablemente esté relacionado con la circunstancia de que no atañe a cuestiones humanas directamente, puesto que no guarda relación con el modo que debemos comportarnos en tanto humanos, ya sea individual o socialmente hablando. En este sentido, John Dupré se refiere a disciplinas como la cosmología o la física de partículas, afirmando que, efectivamente, probablemente se rijan únicamente por criterios epistémicos, pero ello no le otorgaría en ningún caso el status de ciencia en desmedro de otras disciplinas que sí tengan aquella carga valorativa extra epistémica:

Lo que quiero decir sobre la física es que si la mayor parte o la totalidad de la física es una ciencia libre de valores [*extra epistémicos*], no es porque la física sea ciencia, sino porque la mayor parte de la física simplemente no nos importa. Si los electrones tienen carga positiva o negativa y si hay un agujero negro en el medio de nuestra galaxia son preguntas que no tienen absolutamente ninguna importancia inmediata para nosotros. Los únicos intereses humanos que tocan (y de hecho pueden tocar profundamente) son los cognitivos, por lo que los únicos valores que implican son los valores cognitivos. La afirmación de que los electrones tienen carga negativa es, por tanto, libre de valores en un sentido bastante banal: no tiene nada que ver con lo que nos importa. (...) Lo que quiero decir hoy es simplemente que si la física es una ciencia libre de valores [*extra epistémicos*], aquello no tiende a mostrar que la ciencia es, en general, libre de valores [*extra epistémicos*]. (Dupré, 2007, pp.31-32).

En cambio, casos donde sí sería evidente dicha carga extra epistémica serían campos que atañen cuestiones humanas directamente, como por ejemplo la biomedicina, en donde las categorías raza y género tendrían elementos tanto evaluativos como fácticos (p.8). Así, a modo de ejemplo, el hecho de que el embarazo de una mujer se haya considerado como una condición médica (Elgin, 1996, p.6), se encontraría determinado por el hecho de ocupar a un hombre -persona de género masculino-

más, sino que será necesario apoyarse en ciertos valores; en el caso de ciencias que *no nos importan*, como la física de partículas, dichos valores serían exclusivamente epistémicos, pero valores al fin y al cabo. Se debe recalcar, como se señaló en la introducción de este trabajo, que hay quienes afirman que la influencia de valores extra epistémicos es transversal a las ciencias, incluidas aquellas que, en palabras de John Dupré (2007) *no nos importan*; tal es el caso de Helen Longino, quien fundamenta su perspectivas en el llamado salto inductivo, en las creencias del agente y en las suposiciones globales (1990).

<sup>11</sup> A modo de ejemplo, puede tomarse en consideración a John Dupré, quien propone como criterio diferenciador de las ciencias las llamadas *virtudes epistémicas*, tales como sensibilidad a la evidencia empírica, existencia de suposiciones plausibles, coherencia con otras cosas que conocemos y exposición a la crítica (1993, p.243).

como modelo de salud. En este sentido, se podría afirmar que al tratarse de aspectos de la realidad que nos importan, no podrían separarse de aquellas otras cuestiones que también nos importan.

De este modo, tal como se señaló en la sección anterior, un psiquiatra de la década del sesenta que caracterizara a la homosexualidad como una enfermedad mental, además de estar influenciado por la literatura existente hasta ese entonces, también estaría influenciado por sus juicios de valor negativos respecto a la homosexualidad. Actualmente, en cambio, pareciera no primar dicho juicio de valor negativo al respecto, pero aquella circunstancia pareciera no ir en la línea de una *depuración* de la psiquiatría, en el sentido que se estaría librando de juicios extra epistémicos, sino que aquellos valores extra epistémicos estarían siendo sustituidos por otros tantos.

Dicho todo esto, podríamos afirmar que, al menos en ciertas disciplinas científicas, pareciera ser inevitable la mezcla o el entrelazamiento entre elementos fácticos y normativos; o, dicho de otra manera, en ciertas prácticas científicas existiría una clara influencia de juicios de tipo *debe* sobre juicios de tipo *es*. Aquello, a su vez, como hemos señalado, no le quitaría el carácter de ciencia a aquella disciplina; sin embargo, esta última afirmación requiere cierta justificación. En efecto, si la ciencia ha de buscar un conocimiento objetivo o al menos confiable, podría pensarse que la circunstancia de que una disciplina se encuentre atravesada por criterios extra epistémicos, tales como valores morales, políticos o sociales, aquello afectará negativamente esa pretendida objetividad o confiabilidad.

Al respecto, bastará señalar que, autores que adscriben al pluralismo científico y reconocen la presencia de valores extra epistémicos en las ciencias, han procurado dar respuesta a esta disyuntiva. Así, a modo de ejemplo, Helen Longino (1990) entiende la objetividad como resultado de la intersubjetividad, lo cual cobraría especial relevancia en las ciencias al tratarse de una práctica social; de este modo, la circunstancia de que exista una innegable carga extra epistémica en las ciencias, puede ser abordado desde una perspectiva práctica: que los equipos científicos se encuentren constituidos del modo más heterogéneo posible, de modo tal que se pueda evidenciar la suposiciones de fondo que existen en las investigaciones científicas, no con el fin de eliminarlas, sino de sopesarlas en cada caso concreto. Heather Douglas (2009), por su parte, propone que la objetividad se relacionaría con la confiabilidad de una teoría científica más que con la necesaria verdad de la misma; se debería, en todo caso, según la misma autora, resguardar ciertos criterios científicos que no podrían ser pasados a llevar por valores extra epistémicos. De esta manera, en beneficio de la misma pretendida objetividad, ya sea que la entendamos como intersubjetividad o como confiabilidad, debiésemos reconocer la presencia de los valores extra epistémicos y determinar el modo en que están influyendo tal o cual práctica científica.

Aclarado lo anterior, podríamos contextualizar el problema de las *conclusiones indeseables* en las ciencias, de la siguiente manera: a) las ciencias, sobre todo aquellas que atañen directamente cuestiones humanas, pueden tener una carga valorativa extra epistémica; b) aquello se ve reforzado por el hecho del entrelazamiento entre juicios descriptivos y normativos; c) lo recién afirmado (a y b) no le quitaría el status de ciencia a aquellas disciplinas; d) por su parte, la circunstancia de que debamos someter a revisión investigaciones científicas que contengan *conclusiones indeseables*, sería prueba de la colisión entre criterios epistémicos y valores extra epistémicos. Ahora bien, respecto a esto último, puede quedar en evidencia dicha colisión, pero sigue quedando abierta la pregunta en torno a qué actitud debemos adoptar al respecto, y también si es que el pluralismo científico puede ayudarnos a resolverla.

En miras a intentar dar una respuesta que complete el análisis, podríamos abordar, bajo una perspectiva pluralista, someramente el problema de la finalidad de las ciencias. En efecto, pareciera cambiar drásticamente el panorama si es que se entiende que las ciencias tienen por finalidad principal y/o exclusiva desarrollar teorías verdaderas, entregar buenas explicaciones, contribuir a un mejor entendimiento, o una mezcla entre dichas finalidades (Rooney, 2017, pp.35-37), o bien considerar como finalidad de las mismas el servir de herramienta confiable para satisfacer necesidades humanas éticas. Como podrá anticiparse, el primero de los casos pareciera ser más afín a una postura que, con tal de dar cuenta de las verdades que subyacen al mundo, no tendría por qué reparar en las consecuencias que tal o cual descubrimiento pueda tener en la dignidad de un determinado grupo social; en el segundo de los casos, en cambio, se podría fácilmente desechar una investigación que directa o indirectamente pueda afectar a los grupos sociales en cuestión. Sin embargo, como también podrá anticiparse, en el caso de una postura pluralista, difícilmente se podría dar una respuesta única a la pregunta por la finalidad de las ciencias; podría ser una, la otra, o una mezcla de ambas u otras consideraciones, dependiendo de qué área de la ciencia nos encontremos, e incluso de qué investigación en particular se sitúe la discusión.

De esta manera, en disciplinas científicas que sí atañen a cuestiones humanas directamente, como la medicina y la psicología, podría rastrearse su finalidad en la satisfacción de necesidades humanas a través de la producción de conocimiento confiable; dichas necesidades humanas, por su parte, no podrían ser sino necesidades éticas, ya que en tanto realidad situada en el ámbito humano no podría librarse de tal requerimiento, además que, si reconocemos la presencia de valores morales, sociales y políticos en las prácticas científicas, pareciera no existir una buena razón para no tomar en consideración dichos valores extra epistémicos en las consecuencias prácticas de tal o cual práctica científica. De esta manera, si una investigación científica fuese probablemente a afectar negativamente la posición de un grupo social que ya se encuentra en una posición desmejorada, existirían muy buenas razones para no llevar a cabo dicha investigación o bien no publicar sus resultados. En los hechos, aquella decisión de no investigar probablemente irá ligado al no otorgamiento de financiamiento por parte de la institución respectiva para tal cometido, mientras que la decisión de no publicar, por su parte, será resorte de la institución encargada de dicha etapa. Al respecto, puede ser de vital relevancia la forma de constituirse los comités éticos —o instancia análoga— de las instituciones en cuestión, en el sentido de si han de representar únicamente los lineamientos de la respectiva institución, o bien procurar representar de un modo más o menos fidedigno los distintos intereses de la sociedad.

Sin embargo, pareciera no ser necesario tener que recurrir exclusivamente al veto o censura de una determinada institución; podríamos, en un sentido inverso, preguntarnos por la responsabilidad del científico en particular. Nuevamente, el pluralismo científico, al abrir el abanico de las finalidades y características de las distintas ciencias, nos permite también entender a las actividades científicas de un modo menos estereotipado, por decirlo de algún modo. De esta manera, la imagen del científico encerrado en su laboratorio que no le interesa nada más que descubrir ciertas verdades del mundo, podría ser cierto respecto a un conjunto circunscrito de prácticas científicas; en cambio, habría otras tantas prácticas científicas que, al estar puesta su finalidad en la satisfacción de necesidades humanas éticas, el científico en tanto sujeto responsable no podría dejar de tomar en consideración las consecuencias prácticas de su investigación.

Esta última consideración se puede ver reforzada si se comprende a la racionalidad científica no como una racionalidad meramente instrumental, sino como una racionalidad práctica en el sentido más clásico de la acepción. En otras palabras, podríamos llevar a cabo el proceso inverso de

atomización de las distintas esferas de la vida, propio de la modernidad, y comprender que la dimensión moral de la acción humana es inseparable de la misma:

La racionalidad que gobierna la ciencia debe verse como una racionalidad práctica en el sentido clásico y no meramente instrumental. Es decir, cuando se toman decisiones sobre qué se va a investigar y cómo se va a organizar la investigación, se debe tener en cuenta todo el espectro de valores, no solo los valores cognitivos. Cualquier acción debe ser considerada bajo los aspectos de su objetivo, medios, circunstancias y consecuencias. [...] Reducir la racionalidad de la ciencia a la racionalidad instrumental significaría tratar a los científicos como "mentes que deben ser contratadas" por aquellos que pueden pagarlas; e implicaría reducirlos a criaturas "mecanizadas" que actúan siguiendo los medios indicados como necesarios por la racionalidad instrumental sin preguntarse si una acción que deben realizar es moralmente aceptable o no. (Lekka-Kowalik, 2010, p.38)

La acción humana así entendida invita a *des-tecnificarla*, es decir, quitarle su carácter de meramente instrumental. En dicho sentido, toda actividad humana en tanto se encuentre situada en la realidad, no podrá desentenderse de su dimensión moral, lo que implica, a su vez, que el régimen de responsabilidad general le será siempre aplicable. De este modo, un científico no podría alegar el carácter meramente técnico de su acción, cuando esté participando en un proyecto que, por ejemplo, tenga como objeto probable dar muerte a la mayor cantidad de personas en el menor tiempo posible. Bajo esta concepción, al científico *estereotipado* mencionado más arriba, que se encuentra encerrado en su laboratorio descubriendo las verdades subyacentes de los fenómenos medibles, como podría serlo un físico o un químico, sí se le podría exigir levantar su mirada y ver de frente las posibilidades prácticas de sus investigaciones. De esta manera, si bien es altamente improbable que las conclusiones de sus investigaciones puedan afectar la dignidad de ciertos grupos sociales, en ciertos casos sí podrían afectar la existencia misma de seres humanos, lo que pareciera ser más grave.

Estas últimas consideraciones no quieren decir que necesariamente le quepa al científico una responsabilidad penal o civil en las consecuencias de la utilización de su trabajo, ya que a su respecto se podrá realizar un ejercicio de imputabilidad, es decir, determinar si le cabe o no la calidad de autor, cómplice u otra respecto a un determinado ilícito. De todos modos, no serían necesarios casos tan extremos como el recién planteado, y no tendría por qué estar en juego la responsabilidad penal o civil del científico para que su acción se encuentre enmarcada dentro del carácter práctico y, por ende, moral de la acción humana<sup>12</sup>.

## 6. Conclusiones

Respecto al tema central de este trabajo, podemos señalar que, bajo una perspectiva pluralista, si bien no se puede dar una respuesta unívoca al dilema de las conclusiones indeseables, sí podemos abordar caso a caso situaciones como las que se han planteado y en definitiva sopesar los pros y los contras de una determinada investigación, tomando en consideración la innegable carga valorativa extra epistémica de ciertas actividades científicas que no por eso dejan de ser ciencias, como asimismo las distintas finalidades que se le pueden atribuir a las mismas. Dichas consideraciones,

<sup>12</sup> Obviamente existen distintas aproximaciones respecto a la moralidad, en el sentido si esta debe ser más bien consecuencialista o si, por el contrario, tomar en consideración los actos en sí mismos, por mencionar algunas aproximaciones. Sin embargo, aún bajo una perspectiva estrictamente *kantiana* –centrada en las máximas que han de guiar las acciones de los sujetos–, se podrían atender las consecuencias de determinada acción, obviamente si es que aquello se enmarca dentro de las máximas racionales que gobiernan el actuar moral del ser humano.

además, pueden ser enriquecidas con el entendimiento de la actividad científica como situada en la realidad humana y por ende acreedora de la dimensión moral de toda actividad humana. De esta manera, en ciertos casos, sí pueden existir buenas razones para no llevar a cabo o no publicar ciertas investigaciones, a pesar de su eventual rigurosidad, si es que su contenido puede afectar la dignidad o posición relativa de ciertos grupos sociales, particularmente respecto a la discriminación que puedan sufrir a raíz de tales investigaciones.

Asimismo, y en cierto sentido relacionado con lo anterior, podemos afirmar que ciertas nociones de tipo debe pueden informar consideraciones de tipo es, lo cual sería fácil de apreciar en campos de las ciencias que atañen a cuestiones humanas, como en el caso de la medicina; lo mismo ocurriría con en el entrelazamiento entre hechos y valores. Aquello, a su vez, en ningún caso habría de implicar el carácter no científico de tales disciplinas, sino simplemente reafirmaría su carácter humano, en el sentido de que atañen aspectos sensibles de las personas, que guardan relación con consideraciones sobre cómo el ser humano debe ser, tanto en el campo social como individual.

Queda abierta la pregunta respecto al mejor modo de resguardar los intereses de aquellos grupos sociales menos privilegiados que pudieran verse afectados por las conclusiones de ciertas investigaciones científicas, en el sentido de si se debe apelar exclusivamente a la responsabilidad individual del científico, o bien encomendar a una institución que se encargue de llevar a cabo la discriminación correspondiente; en este último caso, no hay duda que la constitución y modo de funcionamiento de dicha institución resultará de vital relevancia.

Por último, pareciera conveniente agregar que la discusión descriptiva del mundo no se lleva a cabo en un orden ideal desprovisto de intereses políticos y sin consecuencias directas en la vida de las personas. Por lo mismo, podría afirmarse que es prudente renunciar a buscar ciertas verdades cuando éstas puedan oponerse al valor intrínseco de los seres humanos, esto último, una suposición que no tenemos como demostrar pero que no estamos dispuestos –o no debemos estar dispuestos- a negarla.

## Referencias

- Anderson, E. (1995). Feminist Epistemology: And Interpretation and a Defense. *Hypatia*, Summer, 1995, Vol. 10, No. 3, *Analytic Feminism* (Summer, 1995); pp. 50-84. <https://doi.org/10.1111/j.1527-2001.1995.tb00737.x>
- Brown, Matthew J. (2017). Against Epistemic Priority. En Elliot, Kevin C.; Steel, Daniel (ed.): *Current Controversies in Values and Science*. Routledge, pp. 64-78. <https://doi.org/10.4324/9781315639420>
- Douglas, H. (2009). *Science, policy, and the value-free ideal*. University of Pittsburgh Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt6wrc78>
- Elgin, C. (1996). The Relativity of Fact and the Objectivity of Value. *The Harvard Review of Philosophy*, Volume 6, Issue 1, Spring 1996, pp. 4-15. <https://doi.org/10.5840/harvardreview1996611>
- Ferrajoli, L. (2004). *Derechos y garantías La ley del más débil*. Trotta.
- Hume, D. (1740/1984). *Tratado de la naturaleza humana*. Ediciones Orbis.

- Hoekzema, E., Barba-Müller, E., Pozzobon, C. et al (2017). Pregnancy leads to long-lasting changes in human brain structure. *Nature Neuroscience* 20, 287–296. <https://doi.org/10.1038/nn.4458>
- Kitcher, P. (2001). *Science, Truth, and Democracy*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0195145836.001.0001>
- Kincaid, Harold; Dupré, John & Wylie, Alison (Eds.) (2007). *Value-Free Science? Ideals and Illusions*. Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195308969.001.0001>
- Lekka-Kowalik, A. (2010). Why Science cannot be Value-Free. Understanding the Rationality and Responsibility of Science. *Sci Eng Ethics* 16, pp. 33–41. <https://doi.org/10.1007/s11948-009-9128-3>
- Longino, H. (1990). *Science as Social Knowledge*. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctvx5wbfz>
- Lacey, H. (2017). Distinguishing Between Cognitive and Social Values. En Elliot, Kevin C.; Steel, Daniel (ed.): *Current Controversies in Values and Science*. Routledge, pp. 64-78. <https://doi.org/10.4324/9781315639420>
- MacIntyre, A. (1959). "Hume on "Is" and "Ought"". *The Philosophical Review*, Vol. 68, No. 4 (Oct., 1959), pp. 451-468. <https://doi.org/10.2307/2182491>
- MacIntyre, A. (2009). *Tras la virtud*. 5ta edición. Editorial Crítica.
- Moore, G. E. (1903/1993). *Principia Ethica*. Cambridge University Press.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (1950). La cuestión racial. París, Francia: UNESCO. Disponible en línea <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000128289> (consultado con fecha 29-05-2023).
- Putnam, H. (1975). Mathematics, Matter and Method: *Philosophical Papers*, Volume 1. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511625268>
- Steel, D. (2017). Qualified Epistemic Priority Comparing Two Approaches to Values in Science. En Elliot, Kevin C.; Steel, Daniel (ed.): *Current Controversies in Values and Science*. Routledge, pp. 49-63. <https://doi.org/10.4324/9781315639420>
- Steel, D.; Whyte, K. (2012). Environmental Justice, Values, and Scientific Expertise. *Kennedy Institute of Ethics Journal* 22: 163–182. <https://doi.org/10.1353/KEN.2012.0010>



Artículo de Investigación

<https://doi.org/10.35588/cc.v4i1.6127>

## La Posición de las Partículas Atómicas en los Artículos Fundacionales de la Mecánica Cuántica, 1925-1927

*The position of atomic particles in the foundational papers of quantum mechanics, 1925-1927*

### Resumen

Ofrecemos un estudio introductorio del papel que tuvo el concepto de partícula en los artículos fundacionales de la mecánica cuántica. Nos centramos en el período 1925-1927, lo que incluye el análisis de los primeros trabajos de Heisenberg, Born, Jordan, Schrödinger y Dirac, y también las primeras formulaciones de la complementariedad de Bohr. Nuestro objetivo es discutir hasta qué punto se puso en duda el concepto de partícula a nivel atómico entre los creadores de la nueva teoría, justo en el momento de su creación y cuando aún no existía una interpretación consensuada ni establecida. Posteriores desarrollos, como la teoría cuántica de campos, pusieron la vigencia de ese concepto bajo sospecha. Mostramos que un análisis historiográfico articulado mediante este concepto permite caracterizar la relación que los distintos autores de la mecánica cuántica mantuvieron con la visualización de los procesos atómicos. En algunos casos, como el de Heisenberg, su evolución es especialmente significativa. Asimismo, también citaremos algunos fragmentos donde los autores considerados reclaman para sí el legado de la antigua teoría cuántica, tratando de legitimar sus propios desarrollos a partir de su coherencia con los primeros descubrimientos de los Planck, Einstein o De Broglie. De prácticamente todos ellos hemos encontrado textos en este sentido.

**Palabras clave:** electrón, dualidad onda-corpúsculo, atomismo, Heisenberg, Schrödinger.

### Abstract

We present an introductory study of the role of the particle concept in the foundational papers of quantum mechanics. We focus on the period, 1925-1927, which includes the analysis of the first papers by Heisenberg, Born, Jordan, Schrödinger and Dirac, and also the first formulation of Bohr's complementarity. Our aim is to discuss to what extent the concept of particle at the atomic level was questioned among the creators of the new theory, just at the time of its creation and when there was still no agreed or established interpretation. Subsequent developments, such as quantum field theory, put the validity of this concept under suspicion. We show that a historiographical analysis articulated by means of this concept makes it possible to characterize the relationship that the different authors of quantum mechanics maintained with the visualization of atomic processes. In some cases, such as that of Heisenberg, their evolution is particularly significant. Likewise, we will also quote some fragments where the authors considered claim for themselves the legacy of the old quantum theory, trying to legitimize their own developments on the basis of their coherence with the first discoveries of Planck, Einstein or De Broglie. From practically all of them we have found texts in this sense.

**Keywords:** electron, wave-corpuscule duality, atomism, Heisenberg, Schrödinger.

Enric Pérez Canals

[enperez@ub.edu](mailto:enperez@ub.edu)

<https://orcid.org/0000-0003-0303-4401>

Departament de Física de la Matèria Condensada, Universitat de Barcelona, España.

Artículo recibido: 09 de mayo de 2023

Artículo aceptado: 19 de junio de 2023

Artículo publicado: 31 de julio de 2023



[CC BY, Enric Pérez Canals, 2023]

## 1. Introducción

La historia de la física cuántica y, más en particular, el nacimiento de la mecánica cuántica, han sido estudiados desde muchas perspectivas (Jammer, 1966; Forman, 1971; Sánchez Ron, 2001; Seth, 2010; Duncan y Janssen, 2019). Hay cierto acuerdo en que las bases de la interpretación ortodoxa de la teoría, conocida también como *interpretación de Copenhagen*, se establecieron con relativa rapidez, quedando más o menos diseñadas sus líneas maestras en el quinto congreso Solvay, celebrado en Bruselas en otoño de 1927 (Jammer, 1974; Bacciagaluppi y Valentini, 2009; Beller, 1999). Ciertamente, hubo episodios posteriores con implicaciones nada desdeñables, como el desarrollo de la física nuclear, la aparición del libro fundamental de von Neumann en 1932, o la polémica suscitada en 1935 por el artículo de EPR (Einstein-Podolski-Rosen), pero los rasgos distintivos de la ortodoxia quedaron formulados a finales de 1927.

En este artículo queremos poner el foco en el papel que tuvo el concepto de partícula a nivel atómico. ¿Cómo fue tratado por los diferentes participantes en la construcción de la teoría? ¿Se cuestionó su vigencia en los artículos que pusieron las bases de la nueva mecánica? ¿O las dudas llegaron después? Con *partícula* nos referimos a *partícula atómica*, a la sazón electrones y protones. Como es lógico, tras el establecimiento del atomismo en los primeros años del siglo XX (Chalmers, 2009; Smith y Seth, 2020), los primeros modelos del átomo que se construyeron eran sistemas mecánicos que contenían esas partículas *elementales* (los nuevos átomos, pues eran indivisibles). Aquí hemos acudido a los artículos originales con los que se fue construyendo el corpus fundacional de la nueva mecánica cuántica, centrándonos en esos años 1925-1927, sin asomarnos en esta entrega a los cambios que se produjeron en los años posteriores. Aunque algunos de esos cambios dieron en desarrollos como la teoría cuántica de campos, que cuestiona directamente la viabilidad del concepto tradicional de partícula (Davies, 1984; Hobson, 2013), mostraremos que ya en la mecánica cuántica original éste se problematizó. Veremos que las discusiones sobre la *visuabilidad* de los modelos, sobre la posibilidad de elaborar imágenes de los procesos atómicos, en esos años tan fecundos como controvertidos se pueden ir caracterizando a la luz de las vicisitudes que iba sufriendo el concepto de partícula.<sup>1</sup> De hecho, ya en la teoría cuántica antigua (1900-1925) habían asomado vislumbres de la necesidad de redefinir los límites de los conceptos de partícula y onda (Wheaton, 1991), y argumentaremos que precisamente por eso los distintos autores que contribuyeron a construir la nueva mecánica reclamaron para sí el papel de continuadores de los pioneros que habían hollado por primera vez el territorio cuántico.

En definitiva, presentamos el resultado de un caso de estudio con el que queremos contribuir desde un punto de vista historiográfico a desbrozar el terreno para debatir dónde ha quedado la identidad de las partículas atómicas y apreciar hasta qué punto los físicos que erigieron la nueva mecánica estaban dispuestos a renunciar a la visuabilidad de los procesos atómicos. Los debates que vamos a tratar pertenecen a la década de 1920. De forma que el establecimiento del atomismo fue una victoria, en cierto sentido, pírrica, pues poco después que surgieran pruebas alrededor de la década de 1910, la misma idea de partícula elemental se vio fuertemente cuestionada.

<sup>1</sup> Con el término *visuabilidad* nos queremos referir a la propiedad de una teoría de proporcionar imágenes de los procesos descritos, propiedad que se discutió y se sigue discutiendo en relación a la mecánica cuántica y la física moderna en general. La palabra alemana original es *Anschaulichkeit*, y no creemos que exista una traducción justa al español. Alternaremos *visuabilidad* o *visualización*, confiando en que el propio contexto de la explicación deje claro su significado. Agradecemos al editor el hacernos caer en la cuenta de esta ambigüedad.

Como es sabido, Werner Heisenberg fue el primero en articular con éxito una propuesta rompedora que pusiera las nuevas bases de una nueva teoría (Heisenberg, 1925). En el mismo año 1925, un artículo de Max Born y Pascual Jordan, ambos en Göttingen, identificaban el aparato matemático subyacente a la idea de Heisenberg: la teoría de matrices; finalmente, en otra publicación firmada por los tres autores, la nueva teoría ya podía considerarse formulada (Born y Jordan, 1925; Born, Heisenberg y Jordan, 1925). Aún hay que añadir otro trabajo a esta serie, en el que Wolfgang Pauli calculó los términos de la serie de Balmer del hidrógeno con las nuevas herramientas (Pauli, 1927). En noviembre, Paul Dirac, enterado del trabajo de Heisenberg, terminó en Cambridge su primer artículo, y un par de meses después también indicó cómo acometer el tratamiento del hidrógeno (Dirac, 1925; Dirac, 1926a). La tercera y última propuesta vino de Zürich, donde en esos momentos vivía y trabajaba Erwin Schrödinger. Su primer artículo se publicó en febrero de 1926 (Schrödinger, 1926b). La posteriormente bautizada interpretación de Copenhague se nutrió de estas contribuciones, y por ello nos centraremos en estos autores, dejando de lado otros igualmente relevantes en ese contexto histórico, como Louis De Broglie, cuya propuesta no acabó formando parte de la ortodoxia.<sup>2</sup> Por motivos opuestos, sí dedicaremos un último apartado a Niels Bohr.

En el apartado 2 consideraremos los artículos seminales de Heisenberg, Born, Jordan y Schrödinger. En el apartado 3 analizaremos la siguiente etapa, marcada en gran medida por la reacción de los físicos de Göttingen a las contribuciones de Schrödinger. Dedicamos la sección 3.1 a Born y su interpretación estadística, la 3.2 a la evolución del pensamiento de Heisenberg, la 3.3 a las aportaciones de Dirac y la 3.4 a las de Jordan. Antes de pasar a los comentarios finales, dedicamos aún un apartado a Bohr, centrándonos en su presentación del principio de complementariedad en el quinto congreso Solvay.

## 2. Entre la mecánica matricial y la mecánica ondulatoria

El análisis seminal de Heisenberg no pudo ser más claro respecto al nuevo estatuto de las partículas: cualquier intento de imaginar el interior del átomo, de pensarlo en términos de electrones orbitando alrededor del núcleo, quedaba desterrado de entrada.<sup>3</sup>

Es bien sabido que las reglas formales que se utilizan en la teoría cuántica para calcular cantidades observables, como la energía del átomo de hidrógeno, pueden ser criticadas seriamente porque contienen, como elemento básico, relaciones entre cantidades que en principio son aparentemente inobservables, por ejemplo, la posición y el período de revolución del electrón. Por lo tanto, estas reglas carecen de un fundamento físico evidente, a menos que uno quiera conservar la esperanza de que las cantidades hasta ahora inobservables puedan entrar más tarde en el reino de la determinación experimental. Esta esperanza podría considerarse justificada si las reglas antes mencionadas fueran internamente consistentes y aplicables a un rango claramente definido de problemas de mecánica cuántica. Sin embargo, la experiencia muestra que solo el átomo de hidrógeno y su efecto Stark son susceptibles de ser tratados por estas reglas formales de la teoría cuántica. (Van der Waerden, 1967, p.261)

<sup>2</sup> Sobre la teoría de De Broglie véase (Bacciagaluppi y Valentini, 2009).

<sup>3</sup> Cuando esté disponible —como en este caso— daremos la referencia de la traducción inglesa de los artículos originalmente escritos en alemán. En la totalidad de las citas la traducción es nuestra y los énfasis aparecen en los originales.

Heisenberg certifica el fracaso de las teorías ordinarias para dar cuenta de los espectros, lo que en su opinión debe llevarse por delante la utilización de magnitudes y objetos físicos no observables. Notemos, sin embargo, que al mismo tiempo da por descontado que hay átomos y electrones, aunque a estos últimos los prive explícitamente de localización y período de revolución. Semejante planteamiento es también el que encontramos en los artículos subsiguientes con que quedó inicialmente montada la estructura de la mecánica matricial en Göttingen.<sup>4</sup> Y del mismo tono son las posteriores contribuciones de Dirac. Su posicionamiento respecto a la cuestión que aquí nos ocupa es muy similar, al menos inicialmente, al de los creadores de la mecánica matricial: la vigencia de la idea de partícula ni es un tema apremiante ni está expresamente problematizada, a pesar de que las partículas no son directamente observables.

La irrupción en escena de Schrödinger abrió para muchos físicos un resquicio de esperanza, una posibilidad de reencontrarse con los conceptos y explicaciones tradicionales, pero introduciendo una constitución ondulatoria de la materia. Y es que, como indica su nombre, la mecánica ondulatoria alentaba una interpretación de tipo continuista, tanto en lo que se refiere a la negación de la constitución discreta de la materia, como a su afinidad con la mecánica y electrodinámica vigentes hasta entonces.

De los padres fundadores de la nueva mecánica, Schrödinger era, sin duda, el más versado en física estadística. De hecho, en diciembre de 1925, y después de cartearse con Einstein al respecto, había publicado un interesante y original trabajo en el que presentaba un tratamiento ondulatorio completo de un gas ideal (Schrödinger, 1926a). Esto es, agotó, en términos pre-mecánico cuánticos, la analogía entre materia y radiación a la que Einstein andaba dándole vueltas desde hacía más de una década (Navarro, 2020). Así, ya antes de dar con su propuesta de solución del espectro del hidrógeno, Schrödinger era plenamente consciente de que, a cierto nivel, las novedades cuánticas conducían a una difuminación de la frontera que separaba fenómenos ondulatorios y corpusculares. Pero ni el primer artículo dedicado a la mecánica ondulatoria, ni los tres posteriores de la serie, estaban dedicados a los problemas estadísticos a que nos acabamos de referir, sino a la forma del espectro del hidrógeno y la estructura atómica en general.

El protagonista principal de su presentación es la función de onda, solución de la ecuación que hoy lleva el nombre de su creador. Fue en la segunda entrega donde Schrödinger planteó la analogía con la que pretendía fundamentar su programa (Schrödinger, 1926c). Su mecánica era a la mecánica ordinaria lo que la óptica ondulatoria a la óptica geométrica:

El estudio del movimiento de los puntos imagen, que es el objeto de la mecánica clásica, es sólo un tratamiento aproximado y tiene, como tal, tanta justificación como la óptica geométrica o de “rayos” en comparación con el verdadero proceso óptico. Un proceso mecánico macroscópico se representará como una señal ondulatoria del tipo descrito anteriormente, que puede considerarse confinada en un punto de manera aproximada, en comparación con la estructura geométrica de la trayectoria. (Schrödinger, 1982, p.25)

De manera que Schrödinger propone entender las representaciones corpusculares como aproximaciones macroscópicas. Un poco más adelante es más explícito, si cabe:

---

<sup>4</sup> Mecánica matricial es el nombre con el que se designó la versión de la nueva mecánica propuesta por Heisenberg, pues Born y Jordan descubrieron que el álgebra subyacente no era otra que el álgebra de matrices.

En *este* sentido interpreto las “ondas de fase” que, según de Broglie, acompañan el camino del electrón; en el sentido, por lo tanto, de que no debe atribuirse ningún significado especial al propio camino electrónico (en todo caso, en el interior del átomo), y menos aún a la posición del electrón en su camino. (Schrödinger, 1982, p.26)

Una renuncia expresa a la trayectoria y posición del electrón, pero que nada tiene que ver con la promulgada por Heisenberg. Para Schrödinger, el electrón tiene una naturaleza intrínsecamente ondulatoria; para Heisenberg, no siendo observable, debe caer de la descripción física. Además, Schrödinger cree que es precisamente por ese apego a lo corpuscular por lo que otros autores han decidido abandonar las explicaciones causales, o espacio-temporales:

Todas estas afirmaciones contribuyen sistemáticamente a renunciar a las ideas de “lugar del electrón” y “camino del electrón”. Si no se abandonan, las contradicciones persisten. Esta contradicción se ha sentido tan fuertemente que incluso se ha llegado a dudar de que lo que ocurre en el átomo pueda llegar a describirse dentro del esquema de espacio y tiempo. Desde un punto de vista filosófico, consideraría que una decisión concluyente en este sentido equivale a una rendición completa. Pues en realidad no podemos alterar nuestra manera de pensar el espacio y el tiempo, y lo que no podemos comprender dentro de ellos no podemos comprenderlo en absoluto. *Hay* tales cosas, pero no creo que la estructura atómica sea una de ellas. (Schrödinger, 1982, pp.26-27)

Se entiende perfectamente el efecto balsámico que tuvieron las contribuciones de Schrödinger para muchos colegas. Ese efecto fue, como veremos, efímero. Es interesante apreciar cómo en el artículo que Schrödinger dedicó a la equivalencia entre las distintas formulaciones de la nueva mecánica (Schrödinger, 1926d) se reivindica como heredero de la antigua teoría cuántica:

Mi teoría se inspiró en L. de Broglie (...) y en las breves pero infinitamente clarividentes observaciones de A. Einstein (...). Al principio no sospechaba en absoluto relación alguna con la teoría de Heisenberg. Naturalmente conocía esta teoría, pero me desanimaba, si no me repelía, lo que me parecían métodos de álgebra trascendental muy complicados, y la falta de perspicuidad (...) (Schrödinger, 1982, p.46)

Pero había procesos en los que parecía imposible negar el carácter corpuscular de la materia, como por ejemplo los procesos de colisión. Schrödinger recurrió a los paquetes de onda: superposiciones de ondas de diferentes frecuencias que permitían localizar el objeto estudiado, asemejando así las partículas a singularidades en un sustrato ondulatorio. Planteó y detalló su propuesta con el oscilador armónico, prácticamente el único sistema que no presenta problemas en este sentido. Y es que en los meses posteriores, cuando la oposición entre los partidarios de las distintas interpretaciones se encontró, se puso repetidamente de manifiesto que en la mayoría de los casos los paquetes de onda de Schrödinger se disgregaban con el tiempo, cosa que, por definición, no les ocurre a las partículas elementales como el electrón. De hecho, el propio Schrödinger fue consciente, ya en 1926, de ese y otros problemas relacionados con el concepto de partícula en su formulación (Bacciagaluppi y Valentini, 2009, p.116).

En relación a la interpretación de la función de onda, artefacto matemático que poco a poco iba copando el centro de la escena, en estos primeros artículos Schrödinger se decantó finalmente por interpretar su cuadrado como una función peso de los electrones del átomo, como una densidad de carga, rehuendo una interpretación probabilística. Esto leemos en su cuarta y última entrega (Schrödinger, 1926e), enviada en junio:

$\Psi\bar{\Psi}$  es una especie de *función de peso* en el espacio de configuración del sistema. La configuración mecánico-ondulatoria del sistema es una *superposición* de muchas, en sentido estricto de *todas*, las configuraciones mecánicas-puntuales cinemáticamente posibles. Así, cada configuración mecánica-puntual contribuye a la verdadera configuración mecánico-ondulatoria con un cierto *peso*, que viene dado precisamente por  $\Psi\bar{\Psi}$ . Si nos gustan las paradojas, podemos decir que el sistema existe simultáneamente, por así decirlo, en todas las posiciones cinemáticamente imaginables, pero no “con la misma intensidad” en todas. (Schrödinger, 1982, p.120)

En la ironía de esta última frase detectamos nuevamente su distanciamiento de las supuestas paradojas a que arrojaban los descubrimientos de la mecánica matricial. Como hemos señalado, Schrödinger sostenía que eran producto de aferrarse a las imágenes corpusculares.

### 3. Después de Schrödinger

La cercanía de los métodos de Schrödinger a los métodos tradicionales y el concomitante éxito de su formulación entre sus colegas vinieron acompañados de cambios importantes en las interpretaciones de Heisenberg y los físicos de Göttingen (Beller, 1999). Schrödinger, por su parte, no cejó en su empeño de reducir la discretización a la mínima expresión, preocupándose de indicar cómo dar cuenta de experimentos a la sazón muy conocidos y típicamente corpusculares, como el de Franck-Hertz o el efecto Compton (Schrödinger, 1927a; 1927b).

#### 3.1 La probabilidad de Born

Si alguno de los autores de la mecánica matricial reaccionó rápidamente a la aparición de los trabajos de Schrödinger, ese fue Born. Se dio cuenta de que la formulación del vienés se adaptaba mucho mejor que la matricial al tratamiento de problemas de naturaleza no periódica, y dejó atrás buena parte de los resquemores positivistas a cambio de matizar o modificar profundamente la vigencia de la causalidad en los procesos elementales (Born, 1926a).<sup>5</sup> Born afirma que fue Bohr quién propuso estudiar los procesos de colisión, hasta entonces ajenos a la nueva mecánica, con el objetivo de conocer más a fondo los procesos de emisión y absorción, cuya naturaleza continuaba siendo un enigma. Supone que, cuando el electrón colisiona con el átomo, viene y se va, asintóticamente, del infinito, lo que permite asociarlo a una onda plana:

Según Schrödinger, el átomo en su estado cuántico enésimo es una vibración de una función de estado de frecuencia fija  $W_n^0/h$  extendida por todo el espacio. En particular, un electrón que se mueve en línea recta es un fenómeno vibratorio de este tipo que corresponde a una onda plana. (Wheeler y Zurek, 1983, p.53)

En efecto, en la mecánica ondulatoria un electrón libre con un momento perfectamente definido viene descrito por una onda plana en el espacio de posiciones. ¿Cómo entender esa onda? Como una amplitud de probabilidad, que en ese caso equivaldría a equiprobabilidad de presencia en el tramo estudiado. La descripción causal de porqué el electrón sale en una u otra dirección en uno u otro momento queda, de momento, fuera de la teoría. Si eso llegará a poder determinarse o no es, para Born, una cuestión de otro orden, y él prefiere no detenerse en disquisiciones que no vayan acompañadas de artillería matemática.

<sup>5</sup> Sobre los trabajos de Born puede verse (Beller, 1990).

Años más tarde admitió que su familiaridad con los experimentos de colisiones de electrones, que Franck preparaba diariamente en Göttingen en el mismo edificio donde él trabajaba, le habían convencido completamente de la corpuscularidad del electrón (Jammer, 1966, p.39).

En la siguiente entrega de esta investigación, mucho más prolífica, Born se desmarca ya abiertamente del planteamiento de Heisenberg, por un lado, y de Schrödinger, por el otro, y presenta su propia interpretación de los procesos atómicos (Born, 1926b). Aunque prueba su utilidad sólo en los procesos de colisión, cree que es extensible a otro tipo de fenómenos. En esta ocasión admite su deuda con la idea de Einstein del *campo fantasma* (Navarro, 2020, p.439), inspirada a su vez en la *onda guía* de Louis de Broglie. Él aplica esa idea al electrón:

Por lo tanto, me gustaría investigar experimentalmente la siguiente idea: el campo guía, representado por una función escalar  $\psi$  de las coordenadas de todas las partículas implicadas y el tiempo, se propaga de acuerdo con la ecuación diferencial de Schrödinger. El momento y la energía, sin embargo, se transfieren de la misma manera que si los corpúsculos (electrones) realmente se movieran. Las trayectorias de estos corpúsculos se determinan sólo en la medida en que las leyes de la energía y el momento las restringen; de lo contrario, sólo se encuentra una probabilidad para una determinada trayectoria, determinada por los valores de la función  $\psi$ . Esto podría resumirse, un tanto paradójicamente, tal vez de la siguiente manera: el movimiento de las partículas sigue leyes de probabilidad, pero esa misma probabilidad se propaga en armonía con la ley causal. (Ludwig, 1968, p.207)

Hallamos por primera vez explicado lo que hoy es común asociar a la función de onda: su evolución temporal es determinista, pero su interpretación física implica entender su cuadrado como una densidad de probabilidad de hallar la partícula en una posición determinada. Queda claro que Born recayó en el empleo de visualizaciones, y en sus artículos no hallamos tampoco rastro de duda sobre la corpuscularidad de los electrones. De hecho, celebra esa recaída, a pesar de que conlleve una enmienda a la causalidad:

Sobre la base de las discusiones anteriores, me gustaría presentar la opinión de que la mecánica cuántica no sólo permite la formulación y solución del problema de los estados estacionarios, sino también el de los procesos de transición. En estas circunstancias, la versión de Schrödinger parece hacer justicia a los hechos de la manera más fácil con diferencia; además, permite conservar las ideas convencionales de espacio y tiempo en las que los acontecimientos tienen lugar de una manera completamente normal. Por otra parte, la teoría propuesta no se corresponde con la exigencia de la determinación causal del acontecimiento individual. (Ludwig, 1968, p.224)

Es patente la influencia que ejerció en Born la aportación de Schrödinger y su crítica a la mecánica matricial en su versión original. Born abundó en las mismas ideas en un artículo posterior que publicó en la primavera de 1927, titulado “Mecánica cuántica y estadística” (Born, 1927), pero marcando distancia respecto Schrödinger. Ahí descarta la propuesta de asociar paquetes de onda a las partículas, y aunque los corpúsculos carezcan de individualidad (Born se refiere ya al concepto de indistinguibilidad, que abordaremos más abajo), defiende el poder seguir imaginándolos: “*La materia en sí todavía se puede representar bajo la forma de partículas (puntuales) móviles (electrones, protones); sólo que estos corpúsculos en muchos casos no se identifican como individuos, como por ejemplo cuando se encuentran asociados en un átomo*” (Born, 1963, p.394). Es decir, en la nueva teoría las partículas atómicas sí conservan su individualidad, pero sólo si no están confinadas varias de ellas, por ejemplo, en el mismo núcleo. Su individualidad se difumina cuando forman parte de un agregado de partículas idénticas.

Unos meses después, Pauli, en un trabajo en el que aplicaba la estadística de Fermi-Dirac al estudio del paramagnetismo, extendió la interpretación probabilística de Born a los gases ideales degenerados (Pauli, 1927). El hecho de que éste recurriera a la función de onda de Schrödinger no implicaba en absoluto que compartiera su interpretación continuista: tanto él como Heisenberg se encargaron de mostrar que los resultados de Born podían deducirse también en el marco de la mecánica matricial, sin recurrir a la función de onda (Bacciagaluppi y Valentini, 2009, p.98).

En breve, la interpretación probabilística empezó a establecerse como uno de los productos más característicos e impactantes de la nueva mecánica. A Schrödinger este uso de la función de onda no le convenció:

De una separata del último trabajo de Born en el Zeitsch. f. Phys. sé más o menos cómo piensa él las cosas: las ondas deben estar estrictamente determinadas causalmente a través de leyes del campo, las funciones de onda en cambio sólo tienen el significado de probabilidades para los movimientos reales de partículas de luz o materiales. Creo que con ello Born pasa por alto que (...) dependería del gusto del observador qué desea considerar como real, si la partícula o el campo guía.<sup>6</sup> (Bacciagaluppi y Valentini, 2009, p.118)

Lo que puede leerse como un anticipo de la posterior oposición de Schrödinger a la dualidad onda-corpúsculo (Pié i Valls y Pérez, 2014).

### 3.2 La discontinuidad de Heisenberg

En verano de 1926 Heisenberg se dedicó al problema de varios cuerpos, debido principalmente a su interés en dar cuenta del espectro del helio. En su primer trabajo al respecto presenta lo que viene a ser la versión mecánico-cuántica de la indistinguibilidad que ya Einstein había introducido más de un año antes con el formalismo de la mecánica estadística clásica en el espacio fásico (Heisenberg, 1926a).<sup>7</sup> También Enrico Fermi había presentado por entonces su estadística cuántica para los electrones (Pérez y Ibáñez, 2022). Para Heisenberg la vía de Schrödinger no debe considerarse la continuación de la de De Broglie, por el mero hecho de que las ondas tridimensionales propuestas por éste no se corresponden con las ondas multidimensionales de Schrödinger. Una descripción con ondas tridimensionales, como las de la física ordinaria, recuperaría una descripción tradicional espacio-temporal, lo que Heisenberg, a estas alturas, considera ya una rémora. Apela a la corpuscularidad para privilegiar la mecánica matricial:

En vista de esta analogía, me parece que uno de los aspectos más importantes de la mecánica cuántica es que está basada en una imagen corpuscular de la materia; por supuesto que no se trata de una descripción del movimiento de corpúsculos con nuestros conceptos ordinarios de espacio-tiempo. Esto difícilmente se podía esperar; pues incluso si los corpúsculos fueran singularidades de la estructura métrica del espacio, como es el deseo de la teoría del continuo, probablemente eso tampoco sería ninguna descripción con nuestros conceptos ordinarios de espacio-tiempo – a menos que consideráramos un espacio cuya medida se apartara esencialmente de la euclidiana, del espacio “ordinario”. (Heisenberg, 1926a, pp.412-413)<sup>8</sup>

<sup>6</sup> Carta de Schrödinger a Wien, 25 de agosto, 1926.

<sup>7</sup> Sobre los trabajos de Einstein véase (Navarro, 2020).

<sup>8</sup> Notemos que Heisenberg se refiere a la *mecánica cuántica*: Al parecer, no le gustaba la denominación *mecánica matricial*. Véase (Bacciagaluppi y Valentini, 2009, p.81).

Mantiene pues los corpúsculos a pesar de negarles visuabilidad. Ahora bien, del mismo modo que las ondas tridimensionales no pueden dar cuenta de la información contenida en la función de onda, tampoco pueden hacerlo los corpúsculos individuales. Hay que suponerles cierta interrelación, acoplamiento, resonancia: “*Si se quisiera hacer una imagen clara que correspondiese a la solución mecánico-cuántica de los electrones en el átomo, habría que imaginar algo así como que los dos electrones intercambian sus posiciones periódicamente de forma continua (...)*” (Heisenberg, 1926a, p.421). Esta es la interpretación de Heisenberg de la *indistinguibilidad* de las partículas en mecánica cuántica. A la falta de localización se añadió esta propiedad, ya atisbada en los trabajos de Satyendra Nath Bose y Einstein (Navarro, 2020, p.301). Heisenberg y Dirac le dieron carta de naturaleza en la nueva mecánica: distinguir partículas idénticas no era un observable, y por lo tanto su individualidad debía quedar fuera de la teoría, a menos que se trataran sistemas de una sola partícula. Cuando había varias, su identidad individual se esfumaba, y así como Einstein imaginó una interrelación ondulatoria, Heisenberg imagina las partículas intercambiando sus posiciones constantemente.

A estas alturas, podemos decir que si bien Heisenberg quería mantener distancias con la interpretación continuista de Schrödinger, para lo cual resaltó las discontinuidades en las que se fundaba la mecánica matricial, ello no significa tampoco que defendiera a ultranza, ni mucho menos, una cosmovisión atomista. Así le manifestaba a Pauli la repulsa que le provocaba la idea de Born:

Por cierto, ¿¿qué me dices de la última nota de Born en el Zeitschrift?? [sic.] Una frase me recuerda vivamente un capítulo del Credo crist[iano]: “Un electrón *es* una onda plana...” También es bonito pensar sobre el significado profundo de la nota al pie de la página 865. Pero no quiero hacerte competencia en calumnias.<sup>9</sup> (Pauli, 1979, p.338)

La nota al pie a la que se refiere es aquella en la que aparece por primera vez –que nosotros sepamos– la propuesta de interpretar el cuadrado de la función como una densidad de probabilidad. Las reticencias de Heisenberg a mantener una visión corpuscular se hacen aún más patentes en la transcripción de una charla que pronunció en la reunión anual de científicos alemanes en Düsseldorf, el 23 de septiembre de ese mismo año (Heisenberg, 1926b). Este documento representa, en nuestra opinión, el último hito en la trayectoria de Heisenberg antes de su posterior viraje hacia la visuabilidad de los procesos intraatómicos. Presenta tres restricciones a la realidad de los corpúsculos, tres argumentos contra la afirmación de que la materia está hecha de primordios. Son los siguientes:

- I. Los intentos de explicación de los fenómenos microscópicos han fracasado precisamente por consistir en la confección de imágenes. No es posible visualizar los átomos.
- II. La mecánica cuántica define magnitudes análogas a las clásicas, como la posición o el momento. Pero si bien puede asociarse energía a los estados estacionarios, por ejemplo, las magnitudes observables asociadas a un corpúsculo tampoco son directamente visualizables, concebibles.
- III. Para dar cuenta de un sistema de varios cuerpos, hay que suponer que son indistinguibles, que están intercambiando constantemente sus posiciones.

Schrödinger estuvo en Copenhague en ese mismo octubre (de 1926),<sup>10</sup> una vez ya se habían publicado las cuatro entregas de su mecánica ondulatoria. Pero antes, en julio, había dado charlas en Berlín y Múnich (Jammer, 1974, p.31). Seguramente a una de estas visitas se refería Heisenberg en una carta a Pauli que ya hemos citado antes. En ella, su oposición a la versión ondulatoria es manifiesta:

<sup>9</sup> Carta de Heisenberg a Pauli, 28 de julio, 1926.

<sup>10</sup> Consta que el 4 de octubre dio una charla. Véase (Pauli, 1979, p.339).

Tan amable es Schr[ödinger] en persona como extraña encuentro su física: cuando se le escucha, uno se siente 26 años más joven. Schr[ödinger] ya echa por la borda todo lo “teórico-cuántico”: a saber, el efecto fotoeléctrico, las colisiones de Franck, el efecto de Stern-Gerlach, etc.; así no es difícil hacer una teoría. Pero simplemente no coincide con la experiencia.<sup>11</sup> (Pauli, 1979, pp.337-338)

Tal era la disposición de Heisenberg cuando Schrödinger atendió a la invitación de Bohr. En Copenhague tuvieron lugar encendidas discusiones entre los tres físicos, que seguro que contribuyeron a perfilar las posturas de los implicados. Heisenberg, en el siguiente artículo que comentaremos, escrito en marzo, presenta una postura claramente beligerante con el continuismo de Schrödinger, y en él se aprecia una discontinuidad muy llamativa con el que acabamos de ver. Se trata, ni más ni menos, del artículo donde Heisenberg presenta el principio de incertidumbre (Heisenberg, 1927). Lo que encontramos en él es un intento de interpretar algunos resultados de la mecánica cuántica a partir de los márgenes de incertidumbre de las medidas físicas, y proveer de sentido los conceptos clásicos en el reino cuántico. Así, en cierto modo, se puede volver a hablar de la trayectoria del electrón, aunque no en el sentido hasta entonces usual. Varios de los experimentos mentales que Heisenberg presenta exigen una visualización que es claramente incompatible con su propuesta iconoclasta de 1925. Veamos una nota que pertenece a este artículo y que parece una respuesta directa al artículo de Schrödinger que hemos comentado más arriba (Schrödinger, 1926d):

Schrödinger describe la mecánica cuántica como una teoría formal de aterradora, incluso repulsiva, abstracción y falta de visibilidad. Ciertamente, no se puede sobrestimar el valor del dominio matemático (y en esa medida físico) de las leyes de la mecánica cuántica que ha posibilitado la teoría de Schrödinger. Sin embargo, en lo que respecta a las cuestiones de interpretación física y de principios, la visión extendida de la mecánica ondulatoria, tal y como yo la veo, nos ha desviado del camino preciso que señalaban los trabajos de Einstein y de Broglie, por un lado, y los trabajos de Bohr y de la mecánica cuántica, por otro. (Wheeler y Zurek, 1983, p.82)

Apreciamos una vez más cómo Heisenberg quiere desmentir la visión de que la mecánica ondulatoria es la continuación natural de las ideas de Einstein y De Broglie. Y eso es aún más significativo si tenemos en cuenta que en este artículo vuelve a hablar de corpúsculos, colisiones y trayectorias. Además de la crítica al espacio de configuraciones y a sus ondas inimaginables, en este nuevo ataque Heisenberg insiste en desarbolar el intento de Schrödinger de representar partículas mediante paquetes de onda.

Este artículo lleva un apéndice añadido en pruebas de imprenta, y que es una consecuencia de las discrepancias entre Heisenberg y Bohr (Rosenfeld, 1971). Éste le reprochó a aquél su dejadez para con los aspectos ondulatorios en alguno de los experimentos descritos. La complementariedad que ya estaba barruntando el físico danés tras las discusiones con Schrödinger seguramente le indujo a ver en el artículo de Heisenberg un planteamiento demasiado arrimado a la corpuscularidad, demasiado anti-ondulatorio y separado de la dualidad que propugnaría en pocos meses y pasaría a convertirse en la ortodoxia. Dichas discrepancias tenían pues como eje principal el no privilegiar ninguno de los dos aspectos de la dualidad. Esto le escribía Heisenberg a Pauli en mayo de 1927:

<sup>11</sup> Carta de Heisenberg a Pauli, 28 de julio, 1926.

Bohr quiere escribir un tratado general sobre la “estructura conceptual” de la te[oría] cu[ántica] desde el punto de vista de “hay ondas y corpúsculos”; si directamente se empieza así, naturalmente se puede hacer que todo quede libre de contradicciones... Sin embargo, por supuesto que yo soy de la opinión antigua de que las discontinuidades son lo único interesante de la te[oría] cu[ántica] y que eso nunca se puede enfatizar lo suficiente (...) <sup>12</sup> (Pauli, 1979, pp.394-395)

### 3.3 La indistinguibilidad de Dirac

Los escritos de Dirac se caracterizan por la preeminencia de las relaciones meramente matemáticas y el descuido de su interpretación física. Aunque dichos planteamientos suelen tildarse de asépticos, neutros, eso no siempre está justificado. Ya hemos apuntado cómo Dirac se refería, en esos artículos de 1925, a átomos y electrones sin problematizarlos. En 1926 publicó otro artículo en el que se hacía más notorio que para Dirac romper con la mecánica clásica no tenía nada que ver con romper con las partículas (Dirac, 1926b). En ese trabajo consideraba, entre otros, el problema del gas ideal y el problema de las colisiones. Casi al mismo tiempo que Heisenberg, dirigía su atención al sistema de varios cuerpos, el más sencillo de los cuáles es el del gas de partículas sin interacción. Es interesante señalar que probablemente Dirac fue el primero en utilizar la terminología “estados físicamente indistinguibles”. Aunque en este artículo no se refiere directamente a partículas indistinguibles, siempre explica y ejemplifica este concepto planteando permutaciones de electrones. Por ejemplo:

Surge la cuestión de si los dos estados ( $mn$ ) y ( $nm$ ), que son físicamente indistinguibles puesto que sólo difieren por el intercambio de los dos electrones, deben contarse como dos estados diferentes o como un solo estado (...) (Dirac, 1995, p.185)

Recordemos que esa era una de las limitaciones de la realidad atómica que Heisenberg presentó en setiembre ante sus colegas alemanes. Pero si Heisenberg planteó la posibilidad de intercambios de posiciones reales, Dirac se refiere solo a permutaciones sobre el papel. En este mismo artículo, Dirac da cuenta del principio de exclusión de Pauli también en términos netamente corpusculares:

Una función propia antisimétrica desaparece del mismo modo cuando dos de los electrones están en la misma órbita. Esto significa que en la solución del problema con funciones propias antisimétricas no puede haber estados estacionarios con dos o más electrones en la misma órbita, lo que no es más que el principio de exclusión de Pauli. En cambio, la solución con funciones propias simétricas permite que haya cualquier número de electrones en la misma órbita, por lo que esta solución no puede ser la correcta para el problema de los electrones en un átomo. (Dirac, 1995, 187-188)

Explica de forma diáfana por qué la individualidad, la identificación individual de cada electrón debe abandonarse por principios. Pero a pesar de prescindir de imágenes y visualizaciones, y de que el intercambio de electrones no se traduzca en estados físicamente distintos, Dirac, a diferencia de Heisenberg, no da muestras de dudar de su realidad.

<sup>12</sup> Carta de Heisenberg a Pauli, 16 de mayo, 1927.

### 3.4 La dualidad de Jordan

Nos referiremos ahora a otro de los físicos de Göttingen, seguramente el menos estudiado. Jordan hizo mucho por perfilar la idea de dualidad, que como veremos en su caso tampoco conllevaba negación alguna de la realidad de átomos y electrones. Así, aunque por momentos parece que convierta a las *ondas de probabilidad* en el objeto físico mecánico-cuántico, no deja de hablar de la trayectoria de los electrones. En cierto modo, Jordan representa un caso eximio de adhesión a la interpretación de Born. En la que fuera su *Habilitationsvortrag* en Göttingen, a finales de 1926, hizo hincapié en la acausalidad de los procesos elementales, en la prioridad de las probabilidades en las ecuaciones (Jordan, 1927a). Si bien admite que dichas probabilidades se sustraen al entendimiento, dada su definición en el espacio de configuraciones y su irreductibilidad a procesos individuales, no deja de referirse a las expectativas de encontrar electrones en tal o cual sitio. Propone la interpretación de colectividades:

En los últimos tiempos se han realizado importantes avances en el descubrimiento de estas leyes. Ahora, por ejemplo, se puede calcular (en principio) el espectro relacionado con el movimiento de los electrones en un átomo con la misma seguridad con la que, en dinámica clásica, se podría calcular el movimiento de los planetas. Pero a pesar de la analogía entre los cálculos, hay una diferencia importante en la interpretación de sus resultados. El cálculo clásico nos da información sobre nuestro sistema específico de planetas. El cálculo teórico cuántico, en general, no nos dice nada sobre un solo átomo, sino sólo sobre las propiedades medias de un conjunto de átomos similares. (Jordan, 1927a, p.567)

Jordan menciona incluso las trayectorias de las cámaras de niebla: “(...) *de hecho, podemos observar realmente, en gran parte gracias al trabajo de C.T.R. Wilson, el destino de una sola partícula  $\alpha$ , seguir su trayectoria y determinar el momento en que la trayectoria termina en un salto cuántico*” (Jordan, 1927a, p.569). Pero insiste, en los últimos párrafos, en que el tipo de probabilidades que intervienen en la teoría cuántica no se dejan entender al no poderse reducir a probabilidades de sucesos elementales, estadísticamente independientes.

En este artículo, y en relación al problema del gas ideal, del cual Jordan era buen conocedor, se refiere a los trabajos de Heisenberg y Dirac sobre la simetrización de la función de onda como a tratamientos corpusculares (Jordan, 1927b). La indistinguibilidad de las partículas (“*gleicher Teilchen*”) no sólo no le hace poner en cuestión la idea de partícula, sino que la confirma. También el hecho de que un electrón libre venga representado por una onda plana:

Así que esta onda tiene la misma intensidad a lo largo de todo el espacio unidimensional en donde se mueve el punto material. Esto sugiere la siguiente idea: cuando el punto material mecánico cuántico posee un valor definido del impulso, posee al mismo tiempo una cierta probabilidad de que su posición sea cualquiera en el espacio de que dispone, y todas las posiciones posibles son exactamente equiprobables. (Jordan, 1927b, p.647)

En Jordan hallamos pues muchas de las características de la que luego será la interpretación ortodoxa:

Todas las interpretaciones de las leyes físicas hechas mediante imágenes “gráficas” [“*anschauliche*”] no dan más que explicaciones de estas leyes mediante analogías en la región de las cosas visibles, tangibles. Pero las leyes de la microfísica son de un tipo tan especialmente extraño a nosotros que no es posible hallar analogías completas para ellas en la macrofísica. (Jordan, 1927b, p.648)

Jordan también reclamó ser uno de los continuadores genuinos de la física cuántica de los Planck, Einstein y Bohr, de los cuáles Schrödinger, en su celo continuista, se habría alejado: “*Como es sabido, Schrödinger, partiendo de las relaciones matemáticas con cuyo descubrimiento ha enriquecido la mecánica cuántica, ha desarrollado ideas que están en oposición radical con los supuestos básicos de la teoría cuántica desarrollados por Planck, Einstein y Bohr*” (Jordan, 1927c, p.661).

## 4. La complementariedad de Bohr

De los autores a que nos hemos referido, sólo Born, Heisenberg y Schrödinger presentaron ponencia en el quinto congreso Solvay. Pero al congreso acudieron también Einstein, Pauli, De Broglie, Lorentz y Bohr, entre otros.<sup>13</sup> En la comunicación que presentaron conjuntamente Heisenberg y Born no apreciamos novedades, aunque las posturas sí parecen un poco más asentadas. Su declaración de principios aparece casi al comienzo:

Dos tipos de discontinuidades son características de la física del átomo: la existencia de corpúsculos (electrones, cuantos de luz), por un lado, y la existencia de estados estacionarios separados (valores determinados de energía, valores de momento, etc.), por otro. Ambos tipos de discontinuidades sólo pueden introducirse en la teoría clásica mediante hipótesis adicionales muy artificiales. (Solvay, 1928, p.144)

El hecho de que Heisenberg y Born pusieran al mismo nivel la corpuscularidad y la cuantización de los estados estacionarios sí sugiere que no estaban sino respondiendo, una vez más, a la cosmovisión de Schrödinger. Las discontinuidades debían quedar en el centro de la descripción del mundo atómico. Pero ello no les impide promover la dualidad: “*A la naturaleza dual de la luz –ondas, cuantos de luz– le corresponde la naturaleza dual análoga de las partículas materiales. En cierto sentido, éstas también se comportan como ondas*” (Solvay, 1928, p.164). De algún modo había que incluir la función de onda en las explicaciones y atenuaban así el carácter corpuscular de su versión. O, dicho de otro modo, comenzaban a establecer una visión un tanto confusa de los principios de la teoría.

Por su parte, Schrödinger tampoco dice nada que no hubiera dicho ya, e insiste en su propuesta:

El sistema clásico de puntos materiales no existe realmente, pero hay algo que llena continuamente todo el espacio y de lo que se obtendría una «fotografía instantánea» si, dejando abierto el obturador del cuarto oscuro, se hiciera pasar al sistema clásico por *todas* sus configuraciones, dejando que la imagen en el espacio  $q$  permaneciera en cada elemento del volumen  $d\tau$  durante un tiempo proporcional al valor *instantáneo* de  $\psi\psi^*$ . (...) En otras palabras: el sistema real es una imagen compuesta del sistema clásico en todos sus estados posibles, obtenida empleando  $\psi\psi^*$  como «función de peso». (Solvay, 1928, pp.191-192)

Se desmarca así una vez más de la interpretación probabilista de Born: la evolución de la función de onda no da probabilidades sino el comportamiento del objeto físico real, de aquello que está ocurriendo. Compara su propuesta con la de De Broglie, quien en Bruselas defendió su onda piloto,

<sup>13</sup> Las actas pueden consultarse en (Solvay, 1928).

una onda tridimensional que guiaría a las partículas en su recorrido. El físico francés presentó una especie de propuesta mixta, más bien corpuscular, pero cuyo carácter ondulatorio no era ni mucho menos secundario.<sup>14</sup>

Lorentz, presidente del Congreso y patriarca de la Física al menos hasta cinco o diez años antes, manifestó su apego a la visión más clásica del electrón. A pesar de su creencia en la corpuscularidad, admitía sus limitaciones, pero exigía también poder hacerse imágenes, un cómo y un cuándo (Solvay, 1928, pp.248-249). Todo lo contrario que Bohr, quien renunció a la posibilidad de usar exclusivamente uno de los dos tipos de imágenes, ondulatorio o corpuscular, con todas las contradicciones que ello implicaba, reconocidas por él mismo. En relación a su constante empleo del concepto de partícula en su ponencia, leemos:

Observemos de nuevo que, si hemos hablado aquí repetidas veces de la velocidad de una partícula, es sólo con el fin práctico de ajustarnos al modo ordinario de descripción en el tiempo y en el espacio. Como ya se desprende de las consideraciones de De Broglie mencionadas anteriormente, la noción de velocidad debe aplicarse siempre con reserva. (Solvay, 1928, p.226)

Esta actitud se irá convirtiendo paulatinamente en la interpretación hegemónica: todos los conceptos clásicos de velocidad o posición deben seguirse utilizando, sí, pero con cautela y reservas. Más crudamente, en el interior del átomo, Bohr llega incluso a descartar la idea misma de salto cuántico o estado estacionario, que para él no es más que una forma de hacerse una idea de algo de lo que uno no debería hacerse una idea. Y lo mismo ocurre con la noción de partícula:

En resumen, podemos decir que las nociones de estados estacionarios y procesos de transición individuales tienen, en su campo de aplicación, tanta o tan poca realidad como las partículas individuales mismas. En ambos casos hemos expresado la condición de causalidad complementaria del modo de descripción en el espacio y en el tiempo, cuya aplicación lógica sólo está limitada por las posibilidades de definición de las nociones correspondientes. (Solvay, 1928, p.244)

Las descripciones causales de los procesos elementales no son más que tenues sombras de la realidad atómica. Y lo mismo le ocurre al concepto de partícula elemental. Además, Bohr establece una distinción entre partículas que interactúan y partículas libres. Sólo en este último caso tiene sentido imaginárselas (como ondas planas), pues cuando interactúan entre ellas, como ocurre en el interior del átomo, su acoplamiento (o resonancia) no permite pensarlas aisladamente. En las colisiones, esto sólo se aplicaría al momento mismo del choque, que aún siendo el momento decisivo del proceso, queda completamente fuera del conocimiento del observador (experimental o teórico). Ahora bien, esta cuestión deja al descubierto una consecuencia con la que debe acarrear la teoría cuántica. Si la observación modifica el sistema estudiado, y la teoría sólo puede dar cuenta de las medidas, de los observables, el mismo concepto de partícula libre en mecánica cuántica se queda en tierra de nadie. A pesar de ello –y siempre según Bohr– es una abstracción “esencial para expresar el contenido de la experiencia de una manera que guarde relación con nuestra representación ordinaria” (Solvay, 1928, p.219).

---

<sup>14</sup> En la década de 1950 David Bohm redescubrió y desarrolló esta idea, aún hoy considerada seriamente por algunos investigadores (Freire, 2019).

## 5. Comentarios finales

Esta última lectura de la ponencia de Bohr nos devuelve a la pregunta: ¿se llegó a poner en duda el concepto de partícula durante el período fundacional de la mecánica cuántica (1925-1927), más allá de la propuesta explícita de Schrödinger? El físico danés sí creía que el grado de realidad del concepto de partícula se había visto seriamente mermado, y de hecho aún le dedica un último apartado: “El problema de las partículas elementales” (Solvay, 1928, p.244), donde vislumbra que la unión de la teoría cuántica y la relatividad todavía conllevará renuncias más drásticas, y confía en que la complementariedad vendrá a paliar esa y otras cuestiones de interpretación espinosas.<sup>15</sup> No hemos encontrado ninguna declaración tan contundente en escritos de Heisenberg, Born, Jordan o Dirac. Sí de Schrödinger, quien cuestionó abiertamente la constitución discreta de la materia, postura que mantuvo hasta el final de sus días a pesar de no dar con una formulación satisfactoria de la nueva teoría (Bitbol, 1996; Pié i Valls y Pérez, 2014). Después de esta etapa inicial, prácticamente no hubo voces que se aunaran a la de Schrödinger, que quedó apartado de la ortodoxia. No deja de ser sintomático el desigual trato que han recibido en la divulgación y en la filosofía de la ciencia las discrepancias de Bohr con Einstein, y las de los físicos de Göttingen con Schrödinger. La disidencia de este último es muchísimo menos conocida, y su desafío al atomismo ortodoxo que quedó establecido apenas ha trascendido (Schrödinger, 1975).

Estamos parcialmente de acuerdo con la tesis de Mara Beller, según la cual el rápido posicionamiento de Schrödinger tuvo como consecuencia que los creadores de la mecánica matricial se decantaran hacia una ontología de tipo más corpuscular, llegando a contradecir palmariamente sus propios propósitos de pocos meses antes (Beller, 1999). Hay que añadir que el tipo de problemas que trataron en la segunda tanda de 1926 y 1927, y ya por separado, eran hartamente distintos del simple átomo de hidrógeno de los artículos seminales. El caso de Heisenberg es el más llamativo, pues pasó de negar la visibilidad y conceptualización de las partículas atómicas, a tratar de recuperar imaginéncias clásicas para los procesos en su formulación inicial del principio de incertidumbre.<sup>16</sup> Lo cierto es que nunca negó la constitución corpuscular de la materia (ni en su primer artículo), y tras su encontronazo con Schrödinger, reivindicó más y más la discontinuidad.

Cerraremos volviendo sobre un resultado inesperado de nuestra investigación: el intento de los diferentes autores que contribuyeron a formular la nueva mecánica de postularse como legítimos herederos de la teoría cuántica antigua de los Planck, Einstein y De Broglie. A pesar de que con el paso del tiempo y las reconstrucciones historiográficas Einstein y De Broglie hayan quedado casi exclusivamente asociados a la vía de Schrödinger, y a ambos frecuentemente se les asocia con una posición heterodoxa, hemos podido comprobar que tanto Heisenberg, como Born o Jordan demandaron ser reconocidos como sus legítimos sucesores. El posterior devenir de la teoría junto a las reconstrucciones históricas más recientes dejaron trazada una línea divisoria nítida entre la antigua teoría cuántica y la nueva mecánica; la insistencia de los padres fundadores de la mecánica cuántica por establecer vínculos con la teoría cuántica antigua (1900-1925) pone de manifiesto que ya por entonces sentían claramente el cambio abrupto que había producido el artículo de Heisenberg. Las discusiones que suscitó siguen, en muchos sentidos, todavía vivas. Pensamos que este artículo

<sup>15</sup> Las expectativas de Bohr se cumplieron. La teoría cuántica de campos, que incluyó la cuantización de la radiación, prescindió casi por completo del concepto clásico de partícula (Chalmers, 2009).

<sup>16</sup> Para un estudio historiográfico más detallado de la evolución de la interpretación de la mecánica cuántica por parte de Heisenberg puede consultarse (Camilleri, 2008).

puede contribuir a arrojar algo de luz sobre las posturas iniciales de los físicos que emprendieron estas transformaciones.

## Agradecimientos

Parte de esta investigación se ha financiado con el proyecto PID2019-105131GB-I00 del Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades.

## Referencias

- Bacciagaluppi, G. y Valentini, A. (2009). *Quantum theory at the crossroads. Reconsidering the 1927 Solvay conference*. Cambridge University Press. <https://doi.org/knd3>
- Beller, M. (1990) Born's probabilistic interpretation: a case study of 'concepts in flux'. *Historical Studies in the History and Philosophy of Science*, 21: 563-588. <https://doi.org/b3pj9b>
- Beller, M. (1999). *Quantum dialogue. The making of a revolution*. University of Chicago Press.
- Bitbol, M. (1996). *Schrödinger's philosophy of quantum mechanics*. Kluwer.
- Born, M. (1926a). Zur Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeitschrift für Physik*, 37: 863-867. Versión inglesa en (Wheeler y Zurek, 1983, pp.52-55). <https://doi.org/fq5wd4>
- Born, M. (1926b). Quantenmechanik der Stoßvorgänge. *Zeitschrift für Physik*, 38: 803-827. Versión (parcial) inglesa en (Ludwig, 1968, pp.206-225). <https://doi.org/bgkhgn>
- Born, M. (1927). Quantenmechanik und Statistik. *Die Naturwissenschaften*, 15: 238-242. Reimpreso en (Born, 1963, pp.299-309). <https://doi.org/d2zg28>
- Born, M. (1963). *Ausgewählte Abhandlungen. Vol. 2*. Vandenhoeck & Ruprecht.
- Born, M. y Jordan, P. (1925). Zur Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 34: 858-888. Versión inglesa en (Van der Waerden, 1967, p.277-306). <https://doi.org/frq9nn>
- Born, M., Heisenberg, W. y Jordan, P. (1925). Zur Quantenmechanik. II. *Zeitschrift für Physik*, 36: 557-615. Versión inglesa en (Van der Waerden, 1967, pp.321-385). <https://doi.org/fbmkz7>
- Camilleri, K. (2008). *Heisenberg and the interpretation of quantum mechanics*. Cambridge University Press.
- Chalmers, A. (2009) *The scientist's atom and the philosopher's stone*. Dordrecht. <https://doi.org/d6jfbv>
- Davies, P. C. W. (1984). Particles do not exist. En Christensen, S. M. y De Witt, B. S. (Eds). *Quantum theory of gravity: essays in honor of the 60<sup>th</sup> birthday of Bryce S. De Witt* (pp.66-77). Adam Hilger.
- Dirac, P. A. M. (1925). The fundamental equations of quantum mechanics. *Proceedings of the Royal Society (London)*, A109: 642-653. Reimpreso en (Van der Waerden, 1967, pp.307-320). <https://doi.org/c6bfrz>
- Dirac, P. A. M. (1926a). Quantum mechanics and a preliminary investigation of the hydrogen atom. *Proceedings of the Royal Society (London)*, A110: 561-579. Reimpreso en (Van der Waerden, 1967, pp.417-427). <https://doi.org/bt4xhk>
- Dirac, P. A. M. (1926b). On the theory of quantum mechanics. *Proceedings Royal Society of London*, A112: 661-677. Reimpreso en (Dirac, 1995, pp.179-195). <https://doi.org/dcfn3r>
- Dirac, P. A. M. (1995). *The collected works of P.A.M. Dirac*. Cambridge University Press.
- Duncan, A. y Janssen, M. (2019). *Constructing Quantum Mechanics*. Oxford University Press. <https://doi.org/knkx>
- Forman, P. (1971). Weimar culture, causality, and quantum theory: adaptations by German physicists and mathematicians to a hostile environment. *Historical Studies in the Physical Sciences*, 3, 1-115. <https://doi.org/j7pr>

- Freire Junior, Olival (2019). David Bohm. A life dedicated to understanding the quantum world. Springer. <https://doi.org/j8pb>
- Heisenberg, W. (1925). Über die quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen. *Zeitschrift für Physik*, 33: 879-893. Versión inglesa en (Van der Waerden, 1967, pp.261-276). <https://doi.org/fc46xv>
- Heisenberg, W. (1926a). Mehrkörperproblem und Resonanz in der Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 38: 411-426. <https://doi.org/ctt5db>
- Heisenberg, W. (1926b). Quantenmechanik. *Die Naturwissenschaften*, 45: 989-994. <https://doi.org/cf972g>
- Heisenberg, W. (1927). Über den anschaulichen Inhalt der quantentheoretischen Kinematik und Mechanik. *Zeitschrift für Physik*, 43: 172-198. Versión inglesa en (Wheeler y Zurek, 1983, pp.62-84). <https://doi.org/bnv7xn>
- Hobson, A. (2013). There are no particles, there are only fields. *American Journal of Physics*, 81: 211-223. <https://doi.org/f43mwj>
- Jammer, M. (1966). *The conceptual development of quantum mechanics*. McGraw Hill.
- Jammer, M. (1974). *The philosophy of quantum mechanics*. Wiley & Sons.
- Jordan, P. (1927a). Philosophical Foundations of Quantum Theory. *Nature*, 119: 566-569. <https://doi.org/c3x7st>
- Jordan, P. (1927b). Die Entwicklung der neuen Quantenmechanik. *Die Naturwissenschaften*, 15: 638. <https://doi.org/dtkzbx>
- Jordan, P. (1927c). Über quantenmechanische Darstellung von Quantensprüngen. *Zeitschrift für Physik*, 40: 661. <https://doi.org/cpqw8z>
- Ludwig, G. (1968). *Wave mechanics*. Pergamon.
- Navarro, L. (2020). El desconocido Albert Einstein. Tusquets.
- Pauli, W. (1926). Über das Wasserstoffspektrum vom Standpunkt der neuen Quantenmechanik. *Zeitschrift für Physik*, 36: 336-363. Versión inglesa en (Van der Waerden, 1967, pp.387-415). <https://doi.org/cqwdnp>
- Pauli, W. (1927). Über Gasentartung und Paramagnetismus. *Zeitschrift für Physik*, 41: 81-102. <https://doi.org/dsh2nt>
- Pauli, W. (1979). *Wissenschaftlicher Briefwechsel mit Bohr, Einstein, Heisenberg u.a. Band I: 1919-1929*. Springer. <https://doi.org/bkxcch>
- Pérez, E. y Ibáñez, J. (2022). Indistinguishable elements in the origins of quantum statistics. The case of Fermi-Dirac statistics. *European Physical Journal H*, 47: 1. <https://doi.org/j7t5>
- Pié i Valls, B. y Pérez, E. (2014). L'àtom de Schrödinger. *Comprendre*, 16/2: 5-28.
- Rosenfeld, L. (1971). Men and ideas in the history of atomic theory. *Archive for History of Exact Sciences*, 7: 69-90. <https://doi.org/c5vnx6>
- Sánchez Ron, J. M. (2001). *Historia de la física cuántica, I. El periodo fundacional*. Crítica; 2001.
- Schrödinger, E. (1926a). Zur Einsteinschen Gastheorie. *Physikalische Zeitschrift*, 27: 95-101.
- Schrödinger, E. (1926b). Quantisierung als Eigenwertproblem. [Erste Mitteilung]. *Annalen der Physik*, 79: 361-376. Versión inglesa en (Schrödinger, 1982, pp.1-12). <https://doi.org/fpcg9z>
- Schrödinger, E. (1926c). Quantisierung als Eigenwertproblem. [Zweite Mitteilung]. *Annalen der Physik*, 79: 489-527. Versión inglesa en (Schrödinger, 1982, p.25). <https://doi.org/c5zt2n>
- Schrödinger, E. (1926d). Über das Verhältnis der Heisenberg-Born-Jordanschen Quantenmechanik zu der meinen. *Annalen der Physik*, 79: 734-756. Versión inglesa en (Schrödinger, 1982, p.46). <https://doi.org/b5s6db>

- Schrödinger, E. (1926e). Quantisierung als Eigenwertproblem. [Vierte Mitteilung]. *Annalen der Physik*, 81: 109-139. Versión inglesa en (Schrödinger, 1982, p.120). <https://doi.org/d5tw86>
- Schrödinger, E. (1927a). Über den Comptoneffekt. *Annalen der Physik*, 82: 257-264. Versión inglesa en (Schrödinger, 1982, pp.124-129). <https://doi.org/dd6vp7>
- Schrödinger, E. (1927b). Energieaustausch nach der Wellenmechanik. *Annalen der Physik*, 83: 956-968. Versión inglesa en (Schrödinger, 1982, pp.137-146). <https://doi.org/bngh6h>
- Schrödinger, E. (1975). ¿Qué es una partícula elemental?. En *¿Qué es una ley de la naturaleza?* (164-191). Fondo de Cultura Económica.
- Schrödinger, E. (1982). *Collected papers on wave mechanics*. Chelsea Publishing Company.
- Seth, S. (2010). *Crafting the quantum: Arnold Sommerfeld and the practice of theory, 1890-1926*. MIT press.
- Smith, G. E. y Seth, R. (2020). *Brownian motion and molecular reality. A study in theory-mediated measurement*. Oxford University Press. <https://doi.org/knkp>
- Solvay (1928). *Électrons et photons. Rapports et discussions du cinquième conseil de physique tenu à Bruxelles du 24 au 29 octobre 1927*. Gauthier-Villars et Cie.
- Van der Waerden, B. L. (1967). *Sources of quantum mechanics*. Dover.
- Wheaton, B. R. (1991). *The tiger and the shark: empirical roots of wave-particle dualism*. Cambridge University Press.
- Wheeler, J. A. y Zurek, W. H. (1983). *Quantum Theory and Measurement*. Princeton University Press. <https://doi.org/j7pq>



**Matias Daniel Pasqualini**

[matiaspasqualini@gmail.com](mailto:matiaspasqualini@gmail.com)

<https://orcid.org/0000-0003-0084-1363>

Universidad Nacional de Rosario.

CONICET-Instituto de Investigaciones "Dr. Adolfo Prieto".

Artículo recibido: 22 de mayo de 2023

Artículo aceptado: 02 de junio de 2023

Artículo publicado: 31 de julio de 2023



[CC BY, Matias Daniel Pasqualini, 2023]

Artículo de Investigación

<https://doi.org/10.35588/cc.v4i1.6151>

## Una Ontología Modal de Relaciones Para la Mecánica Cuántica

*A modal ontology of relations for quantum mechanics*

### Resumen

En correspondencia con las interpretaciones modales de la mecánica cuántica, Lombardi y Castagnino (2008) y da Costa, Lombardi y Lastiri (2013) han propuesto para dicha teoría una ontología de haces de propiedades posibles intrínsecas, centrada principalmente en las cuestiones de la contextualidad e indistinguibilidad cuánticas. En correspondencia con la interpretación conocida como "mecánica cuántica relacional" (Rovelli, 1996), se han propuesto dos ontologías basadas en relaciones. Laura Candiotta (2017) aboga por una metafísica de relaciones radical, considerada por la autora como una instancia del llamado "realismo estructural óptico". Alternativamente, Andrea Oldofredi (2021) propone una ontología de haces de relaciones, considerada por el autor como una instancia del llamado "realismo estructural moderado". Desde la década de 1980, el tema del entrelazamiento cuántico ha llevado a varios autores (Teller, Healey, Howard, Esfeld) a defender que la mecánica cuántica comporta una forma de holismo. Se ha defendido que el holismo de la mecánica cuántica da apoyo a la tesis metafísica conocida como "monismo de prioridad" (Schaffer, 2010a). En este artículo, se propone una ontología de la mecánica cuántica en la que las propiedades de los sistemas cuánticos revisten a la vez carácter modal y relacional. Como resultado, se obtiene una ontología de la mecánica cuántica holista que representa una instancia del monismo de prioridad y del realismo estructural moderado.

*Palabras clave:* Holismo cuántico; Monismo de prioridad; Ontología de propiedades; Realismo estructural moderado; Realismo estructural óptico.

### Abstract

In correspondence with the modal interpretations of quantum mechanics, Lombardi and Castagnino (2008) and da Costa, Lombardi and Lastiri (2013) have proposed an ontology of bundles of possible intrinsic properties for quantum mechanics, focused mainly on the issues of quantum contextuality and indistinguishability. Corresponding to the interpretation known as "relational quantum mechanics" (Rovelli, 1996), two ontologies based on relations have been proposed. Laura Candiotta (2017) advocates for a radical metaphysics of relations, considered by the author as an instance of the so-called "ontic structural realism". Alternatively, Andrea Oldofredi (2021) proposes an ontology of bundles of relations, considered by the author as an instance of the so-called "moderate structural realism". Since the 1980s, the topic of quantum entanglement has led several authors (Teller, Healey, Howard, Esfeld) to defend that quantum mechanics involves a form of holism. It has been argued that the holism of quantum mechanics supports the metaphysical thesis known as "priority monism" (Schaffer, 2010a). In this article, an ontology of quantum mechanics is proposed in which the properties of quantum systems have both a modal and a relational character. As a result, a holistic ontology of quantum mechanics is obtained, which is an instance of priority monism and moderate structural realism.

*Keywords:* Moderate Structural Realism; Ontic Structural Realism; Ontology of properties; Priority Monism; Quantum holism; Quantum entanglement.

## Introducción

La propuesta conocida como “ontología de haces de propiedades posibles” (Lombardi y Castagnino, 2008; da Costa, Lombardi y Lastiri, 2013), asociada a las interpretaciones modales de la mecánica cuántica, se ocupa principalmente de los desafíos que la contextualidad e indistinguibilidad cuánticas imponen a la elucidación de la ontología de la mecánica cuántica. Dado que en dicha propuesta las propiedades son concebidas como fundamentalmente intrínsecas, esta ontología de la mecánica cuántica no tiene en cuenta de modo directo a las características de la mecánica cuántica que parecen indicar que las propiedades de los sistemas cuánticos son relaciones inherentes, en un sentido que se corresponde con una forma u otra de holismo cuántico (Teller, 1986; Howard, 1989; Healey 1991). Alternativamente, existen propuestas para la ontología de la mecánica cuántica asociadas con la interpretación conocida como “mecánica cuántica relacional” (RQM por sus siglas en inglés; ver Rovelli, 1996), en las que se admite que (al menos algunas) propiedades de los sistemas cuánticos son relaciones inherentes. Una de estas propuestas, que se debe a Andrea Oldofredi (2021), utiliza una teoría de haces de propiedades para dar cuenta de los sistemas cuánticos. Dicha propuesta es entendida por su autor como una instancia del llamado “realismo estructural moderado”. La otra propuesta, que se debe a Laura Candiotta (2017), rechaza que los sistemas cuánticos puedan ser entendidos como objetos en cualquier sentido (ni siquiera como haces de propiedades) y defiende una forma de realismo estructural radical.

En este artículo pretendemos reformular en términos relacionales a la ontología de haces de propiedades posibles asociada con las interpretaciones modales. La propuesta pretende combinar el carácter relacional y modal de las propiedades de los sistemas cuánticos, de manera que se obtenga una ontología holista que resulte una instancia del llamado “monismo de prioridad” (ver Schaffer, 2018). De este modo, dispondríamos de una ontología compatible con las interpretaciones modales que aborde directamente el problema de la contextualidad cuántica (como la ontología ya disponible de los haces de propiedades posibles intrínsecas) pero, al mismo tiempo, también podría dar cuenta directamente de las características relacionales y holísticas de la mecánica cuántica.

Para lograr este objetivo, argumentamos, siguiendo una propuesta de Esfeld (2004), que es posible establecer una equivalencia entre las propiedades intrínsecas de un sistema total y las propiedades relacionales inherentes de sus subsistemas. Así, mientras al sistema total, que podría representar razonablemente al universo si se hacen ciertas suposiciones, le corresponde un haz de propiedades intrínsecas, a los subsistemas, que podrían representar no solo sistemas físicos a escala microscópica sino también objetos ordinarios, les corresponden haces de relaciones inherentes. La existencia de relaciones inherentes entre subsistemas sería suficiente, junto con ciertos supuestos lógicos y mereológicos muy fundamentales, para que de ella se infiera el monismo de prioridad, tal como Schaffer (2010b) argumenta. Dado que en esta propuesta no hay “*relations all the way down*” (eslogan del realismo estructural radical), sino que las relaciones se agregan para constituir haces de relaciones, nuestra propuesta resultaría una instancia del realismo estructural moderado, siguiendo el espíritu de la propuesta de Oldofredi.

En la primera sección presentamos brevemente a las interpretaciones modales y a la ontología de haces de propiedades intrínsecas posibles asociada con ellas. En la segunda sección, presentamos la interpretación RQM y las propuestas de Oldofredi y Candiotta. En la tercera sección, describimos

las características relacionales y holistas que tiene la mecánica cuántica a causa del fenómeno del entrelazamiento cuántico. En la cuarta sección, encontramos el núcleo de la propuesta de una ontología modal de relaciones para la mecánica cuántica. En las secciones quinta y sexta, se defiende que dicha propuesta resulta tanto una instancia del monismo de prioridad como del realismo estructural moderado. Las secciones 7 a 9 son corolarios destinados a profundizar en algunos aspectos de la presente propuesta de ontología.

## 1. Interpretaciones Modales y la Ontología de Haces de Propiedades Posibles Intrínsecas

Mencionemos brevemente las principales características de las interpretaciones modales. Estas distinguen entre un estado-dinámico y un estado-valor. El estado-dinámico determina cuáles son las propiedades posibles de un sistema cuántico y asigna una probabilidad a cada una de ellas. El estado-valor determina cuáles son las propiedades actuales de un sistema, es decir, cuáles son los valores definidos que adquiere un cierto conjunto de observables compatibles. El llamado “vínculo autoestado-autovalor” (EEL por sus siglas en inglés) se rechaza parcialmente en el sentido de que se admite que un sistema puede tener propiedades actuales respecto a cierto observable, aunque el sistema no se encuentre en un autoestado de dicho observable. Cada interpretación modal en particular está equipada con una regla de actualización específica que fija cuál es el estado-valor en un momento dado. El propósito de estas interpretaciones es resolver el problema de la medición reduciendo las interacciones de medición a interacciones ordinarias. Para ello, las interpretaciones modales proponen que los sistemas cuánticos tienen valores definidos para uno de sus contextos con independencia de si el sistema en cuestión está siendo objeto de una medición. El llamado “postulado de proyección” característico de la interpretación ortodoxa se rechaza y, en consecuencia, los sistemas cuánticos evolucionan siempre unitariamente. Como ejemplos de interpretaciones modales, mencionamos a la BDMI (Kochen, 1985; Dieks 1988, 1989), la SDMI (Vermaas y Dieks, 1995), la PMI (Bene y Dieks, 2002) y la MHI (Lombardi y Castagnino, 2008).<sup>1</sup>

En correspondencia con esta familia de interpretaciones, Lombardi y Castagnino (2008) y da Costa, Lombardi y Lastiri (2013) han propuesto una ontología de haces de propiedades posibles intrínsecas (OPP de ahora en adelante). Los postulados principales de esta ontología son:

- (1) Los observables físicos, representados matemáticamente por operadores autoadjuntos en el espacio de Hilbert, son en el dominio ontológico *instancias de propiedades-tipo universales*. Por ejemplo, el operador  $O$  se corresponde con la propiedad-tipo universal  $[O]$  con instancias  $[O^i]$ .
- (2) Los valores físicos, representados matemáticamente por los autovalores de los operadores autoadjuntos, son en el dominio ontológico *propiedades-caso posibles*. Por ejemplo, a cierta instancia de propiedad tipo  $[O^i]$  le corresponden las propiedades-caso  $[o_j^i]$  si es que  $O^i |o_j^i\rangle = o_j^i |o_j^i\rangle$ .

<sup>1</sup> Para un resumen sobre interpretaciones modales, consultar Lombardi y Dieks, 2021.

(3) Los sistemas físicos, representados matemáticamente por un álgebra de operadores autoadjuntos en el espacio de Hilbert, son el dominio ontológico *haces de instancias de propiedades-tipo con sus correspondientes propiedades-caso posibles*. Por ejemplo, al sistema  $S^i$  le corresponde el haz de instancias de propiedades-tipo  $h^i = \{[A^i], [B^i], [C^i], \dots\}$ .

En notación más breve, podemos asociar el sistema  $S^i$  al haz  $S^i(\vartheta^i)$ , donde  $\vartheta^i$  representa al álgebra de operadores  $\{[A^i], [B^i], [C^i], \dots\}$ . Por supuesto, es posible enriquecer la notación para incluir también las propiedades-caso posibles correspondientes, tal como hace Calosi 2022, para quien el sistema  $S^i$  es el haz constituido por la colección  $\langle C = \{O^i \subset \vartheta^i\}, \{o_j^i\} \rangle$ .

La OPP está diseñada principalmente para dar cuenta de la contextualidad cuántica. A causa de esta característica, los sistemas cuánticos no satisfacen el llamado “principio de determinación omnimoda”, que se cumple en el dominio clásico. Este principio metafísico establece que, si un objeto tiene una cierta instancia de una propiedad-tipo, entonces se actualiza una de sus posibles propiedades-caso. Formalmente (ver Calosi, 2022).

$$O^i(x) \rightarrow \exists o_j^i(o_j^i(x)) \quad (1)$$

Como consecuencia de la falla de dicho principio en el dominio cuántico, resulta admisible (incluso necesario) que los sistemas cuánticos tengan instancias de propiedades-tipo que no están determinadas en una propiedad-caso. Este hecho físico queda reforzado por el célebre teorema de Kochen y Specker (1967), el cual excluye la posibilidad de extender la teoría para asignar valores definidos a todos los contextos sin romper las relaciones funcionales correspondientes. Del teorema puede entonces inferirse que la modalidad cuántica no tiene una naturaleza epistémica sino metafísica. La OPP aborda esta característica de la mecánica cuántica permitiendo que las propiedades cuánticas tengan un carácter modal. Como se establece en los postulados anteriores, los sistemas cuánticos son haces de propiedades *posibles*. Cuáles de esas propiedades posibles se consideran actualizadas depende de la regla de actualización que se establece en cada interpretación modal particular. De esta manera, se obtiene una ontología directamente adaptada a la cuestión de la contextualidad cuántica, que puede dar clara cuenta de la falla del principio de determinación omnimoda.

¿Cómo lidia esta propuesta de ontología con la indistinguibilidad cuántica? A pesar de que la OPP es una aplicación de la teoría de haces (*bundle theory*) a sistemas cuánticos, los autores (en línea con la llamada “visión recibida” respecto el problema cuántico de la indistinguibilidad) rechazan que los haces cuánticos sean individuos (da Costa y Lombardi, 2014). Para ellos, en el caso de haces cuánticos indistinguibles, el principio de identidad de los indiscernibles (PII) no se aplica, a diferencia de lo que se espera de los haces clásicos. PII establece formalmente que

$$\forall x \forall y \forall P (Px \leftrightarrow Py) \rightarrow (x = y) \quad (2)$$

Profundicemos en este punto. Hay tres versiones de PII, que difieren respecto al conjunto de propiedades permitidas. Ordenadas de acuerdo a fuerza lógica creciente, son (French y Krause, 2006):

- PII(1) Si dos objetos tienen todas sus propiedades monádicas y relacionales en común, entonces son idénticos.
- PII(2) Si dos objetos tienen todas sus propiedades monádicas y relacionales en común, excepto las espacio-temporales, entonces son idénticos.
- PII(3) Si dos objetos tienen todas sus propiedades monádicas en común, entonces son idénticos.

PII(1) es necesario pero trivial. PII(2) y PII(3), lógicamente más fuertes, están expuestos a contraejemplos (e. g. esferas de Black). Por un lado, la OPP debe hacer foco en PII(3), ya que según ella las relaciones que tienen los haces cuánticos se reducen a sus propiedades intrínsecas (dos haces con las mismas propiedades intrínsecas no podrían diferir en sus relaciones). Por otro lado, según la estadística cuántica, los sistemas cuánticos del mismo tipo son indistinguibles, es decir, difieren *solo numero*. Si, en el dominio cuántico, es el caso que PII(3), entonces los sistemas cuánticos no podrían tener tal diferencia numérica. ¿Se da que PII(3) falla en el dominio cuántico? Según los autores de la OPP, ese sería el caso si los sistemas cuánticos fueran haces de propiedades actuales (como se supone que son los haces clásicos). Pero dado que los sistemas cuánticos son, según esta ontología, haces de propiedades posibles, PII(3) simplemente no se aplica. En la OPP, la modalidad es la piedra de toque que ayuda a resolver el enigma de la indistinguibilidad. Volveremos a este tema en la Sección 9.

Al igual que en cualquier versión de la teoría de haces, la OPP debe enfrentar la pregunta de cuál es la *bundling relation* o “relación constituyente” que media entre las propiedades de un haz de modo que éste se considere un haz propiamente dicho y se distinga de una mera colección de propiedades sin referencia. La “copresencia” es la relación que constituye haces propiamente dichos si las propiedades son tropos. De manera similar, la “coinstanciación” es la relación de equivalencia que constituye haces propiamente dichos si las propiedades son instancias de universales. En ambos casos la relación constituyente se toma como primitiva. Dado que el último es el caso de la OPP, parece que dicha ontología está comprometida con la coinstanciación como relación constituyente primitiva. Sin embargo, la no aplicabilidad de PII(3) junto con el carácter intrínseco de las propiedades que podrían discernir implica que la OPP es radical sobre las condiciones de identidad de los haces cuánticos. Como se enfatizó anteriormente, no son objetos individuales, es decir, no tienen identidad absoluta (identidad que depende de propiedades intrínsecas). Incluso más, no pueden tratarse siquiera de objetos relacionales, poseedores de una identidad relativa (identidad dependiente de propiedades relacionales), ya que relaciones dependientes de las propiedades intrínsecas no pueden discernir si éstas no lo han hecho ya. Como resultado, los haces de la OPP no tienen condiciones de identidad en absoluto. En línea con esta argumentación, Lombardi (2023) argumenta que en la OPP los haces cuánticos ni siquiera son objetos. En este escenario, cada colección de propiedades cuánticas podría contar como un haz cuántico propiamente dicho. De aquí que la OPP no requiera ninguna relación primitiva que constituya a los haces. Esta característica de

la OPP puede hacerla parecer más parsimoniosa en comparación con otras propuestas de ontología cuántica.

## 2. Mecánica Cuántica Relacional y Ontologías Relacionales

La mecánica cuántica relacional (RQM) de Rovelli (1996) es probablemente una de las interpretaciones más populares de la mecánica cuántica en la actualidad. Ha inspirado al menos dos propuestas de ontología de la mecánica cuántica. Laura Candiotta (2017) esboza una propuesta en la que la ontología cuántica es una instancia del realismo estructural óptico (OSR, por sus siglas en inglés; Ladyman, 2007; 2020). Andrea Oldofredi (2021) articula una propuesta en la que la ontología cuántica es una instancia del realismo estructural moderado (MSR, por sus siglas en inglés; ver Esfeld, 2004; Esfeld y Lam, 2010).

A continuación, mencionamos algunas características destacadas de la RQM. La RQM resuelve el problema de la medición al reducir las interacciones de medición a interacciones ordinarias. Según esta interpretación, cada interacción equivale a la ocurrencia de un evento. Esto significa que cada interacción comporta la adquisición de valores definidos para un cierto conjunto de observables compatibles de un sistema-objeto. La característica distintiva de la RQM es que el sistema-objeto adquiere valores definidos mediante una proyección de su estado que es sólo relativa a un sistema-testigo. Es importante destacar que la RQM no atribuye un estatus ontológico al estado cuántico; es sólo un dispositivo para calcular probabilidades cuánticas. Otra característica importante de la RQM que la distingue notablemente de las interpretaciones modales y de otras interpretaciones relacionales es que los sistemas cuánticos no evolucionan de manera puramente unitaria, ya que la ocurrencia de eventos depende de proyecciones del estado (aunque sean relativas). Además, según la RQM no existe tal cosa como un estado cuántico del universo, ya que los estados y las propiedades cuánticas siempre son relativas a un sistema-testigo.

Por lo general, se asume que la ontología de la RQM es aquella en la que los eventos relacionales son los elementos básicos (Laudisa y Rovelli, 2021). Siguiendo esa línea, Candiotta (2017) defiende el carácter fundamental de las relaciones e incluso adopta una perspectiva eliminativista respecto a los objetos relacionados o *relata*. De aquí que ella considera que la ontología de la RQM es una instancia de OSR. De hecho, OSR es sólo realista respecto a las relaciones y a las estructuras que ellas conforman. La autora es extremadamente crítica de las propuestas de ontología en las que los objetos tienen prioridad ontológica respecto a las relaciones (por ejemplo, ontologías en las que las propiedades inhiere en un sustrato o son intrínsecas o en las que las relaciones son simplemente externas). Evita cualquier compromiso realista con respecto a los objetos cuánticos y prefiere considerar a los sistemas cuánticos como procesos que toman el lugar de los *relata* requeridos por las relaciones. Sin embargo, según ella, los procesos relacionados son ellos mismos relaciones, de tal manera que todo lo que hay son relaciones interrelacionadas, conviniendo así con el lema de OSR: “*relations all the way down*”.

Oldofredi (2021) parece adoptar una postura moderada con respecto a la ontología de la RQM. Según él, la ontología de la RQM es una de haces de propiedades que incluyen (no exclusivamente) relaciones no simplemente externas sino inherentes (que no dependen de propiedades intrínsecas). También hay ciertas propiedades independientes del estado (como la masa, la carga, el espín total)

que deben considerarse intrínsecas. Oldofredi emplea la teoría de haces mereológicos (MBT) para articular su ontología de la RQM. Según el autor, los sistemas cuánticos “deben definirse como haces mereológicos de propiedades dependientes del observador que varían en virtud de las interacciones” (Oldofredi 2021, p.18). MBT, una propuesta que se debe a Paul (2017), hace de la composición mereológica la “relación constituyente” (*bundling relation*) que produce haces propiamente dichos. Es decir, las propiedades están relacionadas con el objeto que constituyen de la misma manera que las partes lo están con respecto al todo. En MBT, los haces mereológicos se individualizan por las relaciones espacio-temporales que se dan entre ellos. Por supuesto, esto plantea un problema cuando se trata de dar cuenta de la cuestión de la indistinguibilidad cuántica. Oldofredi tiene que asumir una “diferencia sin fundamento” (*ungrounded difference*) como un principio metafísico adicional para permitir la diferencia numérica entre haces indistinguibles. Además, para acomodar los haces mereológicos a la contextualidad cuántica, Oldofredi tiene que aceptar que en un momento dado no todas las propiedades están metafísicamente determinadas.

Existe una diferencia sustancial entre estas dos propuestas de ontología para la RQM. Candiotti no es realista en cuanto a los objetos, Oldofredi sí lo es. Según la primera, no existen objetos, solo relaciones. Según el segundo, objetos y relaciones están en paridad ontológica. Oldofredi considera que su propuesta de ontología para la RQM es compatible con MSR, que es la forma moderada de realismo estructural propuesta por Esfeld. Según Esfeld, OSR rechaza tanto (1) que las cosas deben tener propiedades intrínsecas además de las relaciones en las que se encuentran como (2) que las relaciones requieren relata, es decir, objetos relacionados (Esfeld, 2004, p.613). Esfeld llama la atención sobre el hecho de que, contrariamente a lo que sostienen los defensores de OSR, no es necesario rechazar (2) si se rechaza (1). Es decir, rechazar las propiedades intrínsecas no fuerza el rechazo de objetos relacionados. MSR, por su parte, surge del rechazo de (1) y de la aceptación de (2). Es decir, MSR rechaza las propiedades intrínsecas, pero acepta objetos relacionados. Ciertamente, si las propiedades dependieran de un sustrato o si los objetos fueran haces de propiedades intrínsecas, los objetos se constituirían o incluso se identificarían independientemente de sus relaciones y tendrían prioridad ontológica sobre ellas. Sin embargo, es posible concebir a los objetos como haces constituidos por relaciones inherentes. Si así fuera, se obtendría relata que quedarían constituidos por las relaciones en las que se encuentran, razón por la cual no podrían tener prioridad ontológica sobre las relaciones. Las relaciones y los objetos relacionados quedarían en paridad ontológica.

Finalizamos la sección con algunos apuntes críticos respecto a estas propuestas. En primer lugar, respecto a la propuesta de Oldofredi: ¿cómo es posible que los haces mereológicos estén en paridad ontológica con sus propiedades y relaciones si estas últimas son las partes de los haces? En la medida en que MBT no se comprometa explícitamente con una forma de holismo, las partes deberían considerarse anteriores al todo. Por lo tanto, no queda claro cómo una propuesta basada en MBT podría ser una instancia de MSR. En segundo lugar, MBT parece perder su atractivo cuando nos adentramos en el dominio cuántico. De hecho, la razón detrás del uso de teorías de haces es prescindir de supuestos metafísicos que estén más allá de las propiedades. Pero, dado que los haces mereológicos no pueden ser distinguirse numéricamente en el dominio cuántico en virtud de relaciones espacio-temporales (como supone MBT ocurre en el dominio clásico), Oldofredi tiene que adoptar un principio metafísico adicional, la *ungrounded difference*, para dar cuenta de la

diferencia numérica entre haces cuánticos indistinguibles. Con respecto a la propuesta de Candiotti, es posible plantear la misma objeción que se plantea comúnmente contra cualquier forma de OSR radical: las relaciones son ininteligibles sin relata. Parece que Candiotti adopta una perspectiva radical en su propuesta de ontología para la RQM porque tiene en mente una noción de objeto que comporta necesariamente un sustrato o propiedades intrínsecas. Es decir, para ella y presumiblemente para los defensores de OSR en general, la alternativa a otorgar prioridad ontológica a los objetos sobre las relaciones es solo dar prioridad a las relaciones por sobre los objetos, excluyendo la posibilidad contemplada por MSR de que relaciones y objetos estén en paridad ontológica.

### 3. Carácter Holista de la QM basado en el Entrelazamiento

En las últimas décadas, un grupo de autores han trabajado sobre el tema del carácter holista de la mecánica cuántica basándose en las peculiaridades de los estados cuánticos entrelazados. Consideremos un ejemplo sencillo. Sean las partículas de espín semi-entero  $S^1$  y  $S^2$ , subsistemas de  $S^U$ . Los posibles estados de  $S^1$  son  $|\uparrow_1\rangle$  (*spin up*) o  $|\downarrow_1\rangle$  (*spin down*), que son autoestados del observable  $S_{1z}$  (espín en la dirección  $z$ ) con autovalores  $(1)$  y  $(-1)$  respectivamente. De modo similar, los posibles estados de  $S^2$  son  $|\uparrow_2\rangle$  o  $|\downarrow_2\rangle$ , autoestados de  $S_{2z}$  con autovalores  $(1)$  y  $(-1)$ . Asumamos que el estado del sistema compuesto  $S^U$  es el llamado estado “singlete”

$$|\Psi_1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow_1\rangle \otimes |\downarrow_2\rangle - |\downarrow_1\rangle \otimes |\uparrow_2\rangle) \quad (3)$$

El estado  $|\Psi_1\rangle$  es no separable ya que no puede ser escrito como un producto tensorial de autoestados de los subsistemas  $S^1$  y  $S^2$ . Se trata de una combinación lineal (con coeficientes  $1/\sqrt{2}$ ) de los estados producto  $|\uparrow_1\rangle \otimes |\downarrow_2\rangle$  y  $|\downarrow_1\rangle \otimes |\uparrow_2\rangle$ . Estos estados producto son autoestados degenerados del observable  $S_{Uz}$  con autovalor  $(0)$ . Cualquier combinación lineal de autoestados degenerados es también un autoestado del mismo observable con el mismo autovalor. Como resultado, el estado  $|\Psi_1\rangle$  es también un autoestado de  $S_{Uz}$  con autovalor  $(0)$ . Del estado singlete  $|\Psi_1\rangle$  se deducen las siguientes correlaciones entre  $S_{1z}$  y  $S_{2z}$

$$\begin{aligned} S_{1z} : (1) &\leftrightarrow S_{2z} : (-1) \\ S_{1z} : (-1) &\leftrightarrow S_{2z} : (1) \end{aligned} \quad (4)$$

Por supuesto, en cualquiera de estos dos casos el observable  $S_{Uz}$  de  $S^U$  tiene valor  $(0)$

$$\begin{aligned} S_{Uz} &= [(1) + (-1)]^2 = 0 \\ S_{Uz} &= [(-1) + (1)]^2 = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

El estado no separable  $|\Psi_1\rangle$  es un estado entrelazado con respecto a la estructura producto tensorial (“TPS” por sus siglas en inglés) que “particiona” al sistema  $S^U$  en los subsistemas  $S^1$  y  $S^2$ .<sup>2</sup> Este es el ejemplo usualmente considerado en experimentos reales o ideales del tipo EPR-Bohm.

Debe enfatizarse que las correlaciones debidas al entrelazamiento cuántico no pueden perderse si la dinámica es puramente unitaria. Este hecho ha llevado a muchos autores a especular sobre la posibilidad de que el universo tenga un estado cuántico no separable o entrelazado, lo que podría convenir con una forma de holismo. Esta posibilidad no está disponible para las interpretaciones de la mecánica cuántica que incluyen algún tipo de postulado de proyección. De hecho, la proyección de un estado entrelazado hacia uno de sus términos conduce necesariamente a un estado producto en el que cada uno de los subsistemas está en cierto autoestado. En particular, la RQM no permite la existencia de estados masivamente entrelazados, ya que, según sus postulados, cada interacción ordinaria conduce a un estado separable del sistema compuesto del subsistema-objeto y del subsistema-testigo. Por supuesto, la posibilidad de que el universo tenga un estado no separable está vigente para quienes adopten una interpretación modal de la mecánica cuántica.

De acuerdo a los defensores del holismo cuántico, los subsistemas del universo no tienen propiedades por sí mismos sino solo en conjunción con el resto de los subsistemas del universo. En el estado singlete mencionado anteriormente, el subsistema  $S^1$  no tiene por sí mismo la propiedad  $|\uparrow_1\rangle\langle\uparrow_1|$  ni  $|\downarrow_1\rangle\langle\downarrow_1|$  (mientras se asuma EEL). Lo mismo ocurre *mutatis mutandis* con  $S^2$ . Sin embargo, es de hecho posible asignar al sistema  $S^U$  (asumiendo EEL) la propiedad determinada  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$ , que es precisamente la propiedad que  $S^U$  tiene cuando pueden darse las correlaciones entre  $S^1$  y  $S^2$  especificadas en la expresión (4). De hecho,  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  es una propiedad determinada de  $S^U$  porque el estado de  $S^U$  es precisamente  $|\Psi_1\rangle$  y es un autoestado del observable global  $S_{Uz}$ . De lo contrario, a la propiedad  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  se le podría haber asignado solamente una cierta probabilidad. En discurso modal, la propiedad  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  del sistema  $S^U$  es actual bajo la condición de que el estado de  $S^U$  sea  $|\Psi_1\rangle$ , de otro modo hubiera sido solamente una propiedad posible. Lo que ha sido ejemplificado aquí con  $S_{Uz}$  es también válido para otros observables globales como el espín total  $(S_{1x} + S_{2x})^2 + (S_{1y} + S_{2y})^2 + (S_{1z} + S_{2z})^2$ , el momento total  $(P_1 + P_2)$  o la distancia relativa  $(Q_1 - Q_2)$ . De hecho, estos dos últimos observables globales son los empleados por Einstein, Podolsky y Rosen en su célebre artículo de 1935.

Caractericemos el llamado holismo cuántico (QH) con mayor precisión. Mencionamos aquí tres variantes (siguiendo el resumen de Esfeld, 2001). Para Teller (1986) QH es relacional en el sentido de que la existencia de relaciones inherentes entre subsistemas del universo comporta una forma de holismo. Las relaciones inherentes son definidas como relaciones fuertemente no supervenientes. El

<sup>2</sup> El entrelazamiento es relativo a cierta estructura producto tensorial (Earman, 2015).

autor hace uso de una noción previamente introducida por Carol Cleland (1984). Ella define a una relación débilmente no superveniente como la que no está determinada por las propiedades intrínsecas de sus relata, pero que todavía requiere que algunas propiedades intrínsecas inhieran en los relata. Una relación es fuertemente no superveniente si no está determinada por las propiedades intrínsecas de sus relata y no se requiere que propiedad intrínseca alguna inhiere en los relata (para definiciones formales ver French y Krause, 2006, Sección 4.4). De acuerdo a Teller, las relaciones que se dan entre sistemas entrelazados son un caso de relaciones fuertemente no supervenientes. Continuando con el ejemplo anterior, el autor reduce la propiedad  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  de  $S^U$  a la relación fuertemente no superveniente  $R(S^1, S^2)$  entre  $S^1$  y  $S^2$  que no podría supervenir sobre las propiedades intrínsecas  $|\uparrow_1\rangle\langle\uparrow_1|$  o  $|\downarrow_1\rangle\langle\downarrow_1|$  de  $S^1$  o sobre  $|\uparrow_2\rangle\langle\uparrow_2|$  o  $|\downarrow_2\rangle\langle\downarrow_2|$  de  $S^2$ . Healey (1991) caracteriza a QH en términos de propiedades del sistema total que no supervienen sobre las propiedades de sus subsistemas. En esta variante de QH, la falla en la superveniencia ocurre directamente entre la propiedad  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  de  $S^U$  y las propiedades pertenecientes a  $S^1$  y  $S^2$ . Es decir, la propiedad  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  no puede ser descompuesta en propiedades de los subsistemas. Por último, Howard (1989) caracteriza QH no en términos de superveniencia sino en términos de falla de la separabilidad. El principio de separabilidad establecido por este autor es que (1) sistemas espacialmente separados poseen cada uno su propio y distinto estado físico y que (2) el estado conjunto de dos o más sistemas separados está completamente determinado por sus estados separados. En nuestro ejemplo, es claro que si el estado de  $S^U$  es el singlete  $|\Psi_1\rangle$ , entonces (1) no es posible asignar a  $S^1$  y a  $S^2$  estados vector sino solamente estados reducidos que se obtienen de tomar trazas parciales y (2) el estado  $|\Psi_1\rangle$  de  $S^U$  no puede obtenerse como producto de los estados reducidos de  $S^1$  y  $S^2$ . Entonces, en el caso de entrelazamiento, es claro que el principio de separabilidad de Howard falla tanto en (1) como en (2). Si la separabilidad falla, entonces dos o más sistemas entrelazados constituyen un único sistema, lo que equivale a suscribir QH.

Esfeld (2004) combina las propuestas de Teller y Healey. De acuerdo a este autor, QH comporta que “las relaciones no supervenientes de entrelazamiento entre las partes de un todo cuántico equivalen a que el todo tiene propiedades intrínsecas que no supervienen en propiedades intrínsecas de las partes” y que “existen propiedades del todo que indican la manera en que las partes están relacionadas unas con otras con respecto a algunas de las propiedades que hace a un objeto un sistema cuántico” (p.611). Como resultado, se da que la propiedad intrínseca  $|\Psi_1\rangle\langle\Psi_1|$  de  $S^U$  equivale a la relación  $R(S^1, S^2)$  entre  $S^1$  y  $S^2$ . Basándose en relaciones de entrelazamiento, Esfeld (2004) y Esfeld y Lam (2010) articulan una propuesta de ontología común a las teorías físicas fundamentales enmarcada en MSR. Más recientemente, Esfeld (2017) presenta una ontología minimalista que, aunque es todavía una instancia de MSR, parece estar lejos de QH. Presentaremos algunos detalles de esta última propuesta en la Sección 6.

## 4. La Ontología de Haces de Relaciones Posibles

En esta sección se esboza una propuesta de ontología modal de relaciones o, en otros términos, una ontología de haces de relaciones posibles (OPR) para la mecánica cuántica. Por supuesto, se espera que esta propuesta sea compatible con las interpretaciones modales. La principal inspiración de la OPR es la OPP. Como ya se ha mencionado en la Sección 1, la OPP se centra principalmente en las cuestiones de la contextualidad e indistinguibilidad cuánticas. Nuestro objetivo es que en la OPR no solo la contextualidad y la indistinguibilidad, sino también QH basado en relaciones de entrelazamiento, obtengan un esclarecimiento desde el punto de vista ontológico. Las relaciones de entrelazamiento, siguiendo la propuesta de Esfeld (2004), se considerarán como relaciones fuertemente no supervenientes y los constituyentes exclusivos de nuestros haces, sin propiedades intrínsecas, de una manera compatible con MSR. La piedra angular de la OPR será su compatibilidad con el monismo de prioridad (PM por sus siglas en inglés), ya que esta última característica permitirá considerar que los haces, aunque estén constituidos por relaciones, están en igualdad ontológica con las relaciones que los constituyen, como exige MSR.

Tengamos presentes los postulados (1), (2) y (3) de la OPP (Sección 1). A continuación, añadimos una definición de subsistemas y de sus haces correspondientes:

- (1) Si un sistema  $S^U(\mathcal{O}^U)$  admite una TPS tal que para todo  $O^U \in \mathcal{O}^U$  se obtiene que  $O^U = O^1 \otimes I^2 + I^1 \otimes O^2$ , el conjunto  $\mathcal{O}^1$  cuyos elementos son los observables  $O^1$  define al subsistema  $S^1(\mathcal{O}^1)$  y las instancias de propiedades-tipo  $[O^1]$  constituyen su haz correspondiente. El conjunto  $\mathcal{O}^2$  cuyos elementos son los observables  $O^2$  define al subsistema  $S^2(\mathcal{O}^2)$  y las instancias de propiedades-tipo  $[O^2]$  constituyen su haz correspondiente. Sea  $\{TPS\}$  el conjunto de todas las TPSs admitidas por  $S^U(\mathcal{O}^U)$  tal que para todo  $O^U \in \mathcal{O}^U$  se obtiene que  $O^U = O^i \otimes I^i + I^i \otimes O^i$ .

Este postulado está parcialmente inspirado en el “postulado de sistemas compuestos” de la MHI (Lombardi y Castagnino, 2008, p.389). De acuerdo al postulado (4) se da que los haces correspondientes a subsistemas están todavía constituidos por conjuntos de instancias de propiedades-tipo *intrínsecas*. Evaluemos si es posible definirlos por medio de conjuntos de relaciones. Añadimos el siguiente postulado trivial

- (2) Sea el sistema total  $S^U(\mathcal{O}^U)$  y sus subsistemas  $S^1(\mathcal{O}^1)$  y  $S^2(\mathcal{O}^2)$ . Sean  $|o_j^1\rangle$  los autoestados de  $O^1 \in \mathcal{O}^1$  correspondientes a las propiedades-caso posibles  $[o_j^1]$  y  $|o_j^2\rangle$  los autoestados de  $O^2 \in \mathcal{O}^2$  correspondientes a las propiedades-caso posibles  $[o_j^2]$ .

Introduzcamos a continuación el siguiente supuesto que permite la existencia de correlaciones entre las propiedades-caso posibles de los subsistemas a causa del entrelazamiento cuántico

- (3) El estado  $|\Psi_U\rangle$  de  $S^U$  es puro y no separable tal que  $|\Psi_U\rangle = \sum_j c_j |o_j^1\rangle \otimes |o_j^2\rangle$  con dos o más  $c_j \neq 0$

Como se ha mencionado en la Sección 3, el supuesto (6) resulta razonable si se adopta una interpretación de la QM en la que la evolución del estado de los sistemas sea puramente unitaria, como es el caso de las interpretaciones modales, entre otras. Adicionalmente, el supuesto de que el estado  $|\Psi_U\rangle$  es puro asegura que no haya correlaciones entre  $S^U$  y un sistema externo. De esta manera, el sistema  $S^U$  resulta un sistema cerrado que podría referir razonablemente al universo. Estamos ahora en condiciones de asignar las siguientes propiedades y relaciones al sistema  $S^U$  y a los subsistemas  $S^1$  y  $S^2$ , basándonos en los postulados (1-5) y en el supuesto (6)

- (4)  $S^U$  tiene la propiedad-caso actual intrínseca  $|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|(S^U)$  y todas las propiedades-caso actuales intrínsecas que conmuten con ella.
- (5) Los subsistemas  $S^1$  y  $S^2$  tienen la relación-tipo actual no superveniente  $R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2)$ .
- (6) Los subsistemas  $S^1$  y  $S^2$  tienen las relaciones-caso posibles  $R_i(S^1, S^2)$ . Cada  $R_i(S^1, S^2)$  corresponde con cada par de propiedades-caso posibles correlacionadas  $[o_j^1]$  y  $[o_j^2]$ .

De acuerdo a Esfeld (2004) la propiedad  $|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|$  de  $S^U$  no se reduce a la relación  $R(S^1, S^2)$  ni viceversa, sino que son equivalentes: “las relaciones no supervenientes de entrelazamiento entre las partes de un todo cuántico equivalen a que el todo tiene propiedades intrínsecas que no supervienen en propiedades intrínsecas de las partes” (ver Sección 3). Asumiendo este principio, se da como resultado que la propiedad intrínseca del sistema total definida en el postulado (7) y la relación no superveniente entre los subsistemas definida en el postulado (8) son equivalentes. Asumiendo además la perspectiva modal, es posible extender tal equivalencia para afirmar que la relación-tipo no superveniente definida en el postulado (8) equivale al conjunto de relaciones-caso posibles definidas en el postulado (9). Formalmente

$$|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|(S^U) \leftrightarrow R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2) \leftrightarrow R_i(S^1, S^2) \quad (6)$$

A partir de los postulados (7), (8) y (9) es posible redefinir parcialmente los postulados (3) y (4) en términos relacionales

- (3') Un sistema físico en estado puro es en el dominio ontológico un *haz de instancias de propiedades-tipo intrínsecas con sus correspondientes propiedades-caso posibles intrínsecas*. Entre todas las propiedades-caso posibles intrínsecas, la propiedad-caso intrínseca  $|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|(S^U)$  junto con todas las propiedades-caso posibles intrínsecas que conmutan con ella son actuales.
- (4') Todo par de subsistemas producidos por una TPS con respecto a la cual el estado  $|\Psi_U\rangle$  es no separable es, en el dominio ontológico, un par de haces constituidos por la *instancia de la relación-tipo*  $R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2)$  y todas aquellas *instancias de relaciones-tipo* que conmutan con ella, equivalentes a *conjuntos de relaciones-caso posibles*  $R_i(S^1, S^2)$ .

Estos postulados reformulados continúan asignando un haz de propiedades intrínsecas (como en la OPP) solo a sistemas aislados en estado puro (una condición que probablemente solo el universo satisface estrictamente). Sin embargo, estos postulados ahora asignan haces de relaciones-caso posibles a todos aquellos pares de subsistemas producidos por TPSs que dejan no separable al estado del sistema total (una característica de la OPR que difiere notablemente de la OPP).

Una serie de clarificaciones se proveen a continuación.

(1°) Dado el supuesto (6), una propiedad-*caso* intrínseca del sistema total equivale a una relación-*tipo* de sus subsistemas, ya que si el estado  $|\Psi_U\rangle$  es no separable y determina una propiedad-*caso* del sistema total, por ejemplo  $|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|(S^U)$ , entonces, por el mismo hecho, queda determinada una relación entre las partes que está todavía abierta a ulterior determinación, a saber  $R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2)$ . Por ejemplo, si el estado  $|\Psi_U\rangle$  determina que el espín  $S_{Uz} = (S_{1z} + S_{2z})^2$  en la dirección  $z$  tiene valor definido cero, i. e.  $S_{Uz} : (0)$ , en un sistema compuesto de un par de fermiones, entonces la relación  $R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2)$  es una relación-*tipo* con respecto a las dos relaciones-*caso* posibles siguientes

$$\begin{aligned} S_{1z} : (1) \wedge S_{2z} : (-1) \\ S_{1z} : (-1) \wedge S_{2z} : (1) \end{aligned} \tag{7}$$

(2°) Cada propiedad-*caso* actual del haz que corresponde al sistema total es equivalente a múltiples relaciones-*tipo* en función del número de TPSs admisibles que dejan el estado del sistema total no separable. Las propiedades del haz que corresponde al sistema total están abiertas a ser determinadas en un doble sentido: en primer lugar, según cuáles sean los subsistemas en los que se divide mediante cierta TPS (como se indica en esta aclaración); y, en segundo lugar, según las diferentes combinaciones de valores posibles que estos subsistemas pueden tomar (como se indica en la primera aclaración).

(3°) En el postulado (3') se establece que un sistema físico en estado puro es en el dominio ontológico un haz de instancias de propiedades-*tipo* intrínsecas. Si el sistema físico al que nos estamos refiriendo es el universo en su totalidad, entonces el postulado (3') puede ser reformulado simplemente eliminando las palabras "instancias de". De hecho, si los sistemas físicos en estado puro son muchos, entonces ellos solo pueden poseer instancias particulares de las propiedades universales. Pero si el sistema en estado puro es único (el universo), entonces las propiedades universales se agotan en una sola instancia. Las propiedades del universo, si una forma fuerte de QH es adoptada (tal como nos proponemos), son a la vez universales y particulares.

(4°) Presumiblemente solo ciertos elementos de  $\{TPS\}$  dejan no separable al estado del universo. Podría ser posible adoptar una TPS para la cual el estado del universo resulta separable. Sin embargo, en un universo particionado por una TPS tal, las correlaciones cuánticas quedarían completamente eliminadas. Cada parte del universo estaría en un estado puro y, por lo tanto, cada

una de ellas constituiría de alguna manera un universo cerrado por sí mismo. Particularmente, una TPS tal no parece ser la que media entre nosotros en cuanto observadores y el resto del universo.

(5°) Lo que los postulados anteriores establecen para estructuras bipartitas puede generalizarse para estructuras multipartitas, obteniendo así no solo relaciones diádicas sino también poliádicas.

(6°) La OPR evita conocidas cuestiones acerca de la falla del principio de composición y descomposición de las propiedades que afecta a la mayoría de las interpretaciones modales (Vermaas, 1998, p.110). Dicha falla ocurre cuando el estado del sistema compuesto es no separable. En tal caso, no es posible asignar al sistema compuesto una propiedad que pueda ser descompuesta en propiedades intrínsecas de los subsistemas. La OPR evita dicha falla ya que en general no se asignan propiedades intrínsecas a los subsistemas, solo relaciones posibles entre ellos.

## 5. La OPR como una Instancia del Monismo de Prioridad

A diferencia de las propuestas de ontología de la mecánica cuántica inspiradas en la RQM en las que no tiene sentido concebir el estado cuántico del universo (ya que no podría ser relativo a otro sistema), la OPR considera que las relaciones posibles entre partes del universo son equivalentes a propiedades intrínsecas del todo. Este hecho plantea la posibilidad de establecer vínculos entre la OPR y el monismo de prioridad (PM). Schaffer (2010b) define al monismo de prioridad como la tesis metafísica que sostiene que solo hay un objeto concreto básico y ese es el universo. Las tesis opuestas son el pluralismo de prioridad (PP), según el cual hay una pluralidad de objetos concretos básicos, y el nihilismo de prioridad (PN), que sostiene que no existen objetos concretos básicos. Formalmente,

$$\begin{aligned} \text{PM: } & \exists x(Bx \wedge \forall y(By \rightarrow x = y)) \\ \text{PP: } & \exists x\exists y(Bx \wedge By \wedge x \neq y) \\ \text{PN: } & \neg\exists xBx \end{aligned} \tag{8}$$

Donde  $B$  es la propiedad de ser un objeto concreto básico (“Monismo” por Schaffer, 2018). Estas son tesis que conciben de manera alternativa la forma en que se da la relación de prioridad ontológica entre diferentes objetos concretos. Schaffer argumenta que PM puede ser defendido en base a las relaciones internas que vincularían a todos los objetos; nótese que las relaciones internas en términos de Schaffer (2010b) son las mencionadas relaciones inherentes, caracterizadas anteriormente como relaciones fuertemente no supervenientes. Él afirma que: “la unidad sustancial de todo el universo se infiere de la interdependencia de todas sus partes” (p.342). De todas las posibles definiciones de relación interna que se han propuesto en la literatura, Schaffer (2010b) destaca la siguiente: una relación interna es tal si es “constrictiva modalmente” (p.350). Es decir, una relación interna es tal que impide la libre recombinación de sus relata. Formalmente, una relación es interna si:

$$(\forall x_1) \dots (\forall x_n) R_{x_1 \dots x_n} \rightarrow \neg M^n x_1 \dots x_n$$

Donde  $M^n$  es la relación  $n$ -ádica que  $x_1 \dots x_n$  tienen cuando pueden recombinar sus propiedades libremente. En consecuencia, si  $x_1 \dots x_n$  tienen la relación interna  $R$  entonces no pueden recombinar

sus propiedades libremente. La definición de relación interna que Schaffer propone se ajusta al tipo de relaciones que se proponen en la OPR como constituyentes de los haces que corresponden a subsistemas. De hecho, se ha establecido que cada relación-tipo  $R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2)$  es equivalente a un conjunto de relaciones-caso posibles  $R_i(S^1, S^2)$ . Es decir, la relación-tipo  $R_{|\Psi_U\rangle\langle\Psi_U|}(S^1, S^2)$  es una instancia de la relación interna definida por Schaffer (2010b) ya que precisamente restringe la libertad modal de sus relata. Esto es, ella habilita solamente ciertas *posibles* combinaciones de los valores *posibles* que pueden tomar ciertos observables de los sistemas  $S^1$  y  $S^2$  (aquellos codificadas en las relaciones-caso *posibles*  $R_i(S^1, S^2)$ ) y excluye cualesquiera otras.

A partir del supuesto de que todos los objetos están internamente relacionados (lo que es consistente con la OPR por su supuesto (6), ver Sección 4) y algunas otras definiciones de carácter metafísico y principios lógicos y mereológicos, Schaffer (2010b) ofrece dos pruebas de PM. En la primera prueba se asume que (1) no hay dos objetos modalmente libres (asunción que se desprende de la asunción de que todos los objetos están internamente relacionados) (2) hay al menos algún objeto básico y (3) cualquier objeto básico es modalmente libre respecto de cualquier otro objeto con el cual no se superponga. Se asume además (para reducir al absurdo) que el objeto  $a$  que es parte del universo es básico. Luego se define al objeto  $b$  que no se superpone con  $a$ . Por (3)  $a$  y  $b$  son modalmente libres. Sin embargo, por (1) no hay dos objetos modalmente libres. Se prueba por el absurdo que ninguna parte del universo es básica. Dado que por (2) hay al menos algún objeto básico, dicho objeto básico no puede ser otro que el universo mismo. Desde la perspectiva de esta prueba, lo que el universo tiene de particular es que es el único objeto que se superpone con cualquier otro. Esto resulta consistente con la presente propuesta de ontología para la mecánica cuántica en la que los haces de relaciones son siempre partes del haz correspondiente al universo. Además, de esta prueba se sigue que el universo es el único objeto modalmente libre, hecho consistente con la presente propuesta de ontología en la que el sistema del universo es el único con estado puro y por ello se corresponde con el único haz de propiedades intrínsecas.

La segunda prueba (algo más intrincada) corre de la siguiente manera. Se asume que (1) no hay dos objetos modalmente libres y que (4) objetos que no se superponen y que están modalmente constreñidos son interdependientes. Se asume además (para reducir al absurdo) que el universo no es básico y se define al objeto  $a$  del cual depende el universo. Dado que la dependencia es asimétrica,  $a$  no puede ser dependiente del universo. Luego, ya que la dependencia es irreflexiva,  $a$  no puede ser el universo. Puesto que cualquier objeto que no sea el universo es una parte propia del universo, entonces  $a$  es una parte propia del universo. A continuación, se define el complemento  $\hat{a}$  de  $a$ . Los objetos  $\hat{a}$  y  $a$  no pueden ser modalmente libres por (1). Debido a que ningún objeto se superpone con su complemento y (4),  $\hat{a}$  y  $a$  son interdependientes. Seguidamente, dado que dos objetos interdependientes o están superpuestos entre sí o forman un todo común, y ya que  $\hat{a}$  y  $a$  no se superponen entre sí, entonces  $\hat{a}$  y  $a$  forman un todo común. Por último, puesto que  $\hat{a}$  y  $a$  dependen de un todo común,  $\hat{a}$  y  $a$  deben depender del universo, ya que el universo es el único todo que  $\hat{a}$  y  $a$  tienen en común. Por tanto,  $a$  depende del universo, contra el supuesto inicial. En consecuencia, el universo es básico. Supongamos ahora (para luego reducir al absurdo) que algún otro objeto  $c$  (que tendría que ser una parte propia del universo) es básico. Defínase el complemento  $\hat{c}$  de  $c$ . Los objetos

$\hat{c}$  y  $c$  resultan interdependientes por la misma razón que  $\hat{a}$  y  $a$  son interdependientes. Si  $c$  es interdependiente entonces es dependiente y no básico, contra el supuesto de que  $c$  es básico. Por tanto, ningún otro objeto sino el universo es básico. Desde la perspectiva de esta segunda prueba, lo que hace especial al universo es que es el único objeto que no tiene complemento. Este hecho también resulta consistente con la OPR, en la que los haces de relaciones se definen siempre respecto de su complemento, mientras que las propiedades del haz al que refiere el universo son intrínsecas y por ello este no tiene complemento.

Cabe aclarar que PM no exige que todas las propiedades de los objetos sean relaciones internas, a diferencia de lo que se propone en la OPR. De esto se desprende que PM no es de suyo una forma de realismo estructural, pero podría serlo si solo se admiten relaciones internas. Tal es el caso de la OPR, que parece resultar a la vez una instancia de MSR y de PM. Una segunda aclaración es que, atendiendo a la estructura de las pruebas esgrimidas, PM no se deduce solo de la existencia de relaciones internas (cuya prueba depende de la interpretación de la QM adoptada) sino también de la aceptación sin prueba del fundacionalismo, es decir, se acepta sin más que hay objetos básicos, excluyéndose por principio PN. Si el objeto básico es el todo o si los objetos básicos resultan de alguna partición particular del todo es una cuestión que sí puede decidirse a partir de la existencia de relaciones internas, tal y como las pruebas ofrecidas por Schaffer ponen en evidencia.

## 6. La OPR como una Instancia de MSR

Mencionamos en la Sección 2 que la propuesta de Candiotti es una instancia de OSR y la de Oldofredi una instancia de MSR. Ahora nos preguntamos cómo se posiciona la OPR con respecto a OSR y MSR. La respuesta natural es que la OPR es una instancia de MSR. Todo indica que en la OPR los haces y las relaciones están en paridad ontológica. Ambos surgen simultáneamente del haz correspondiente al universo una vez que se ha especificado una TPS. Cambiar la partición equivale a cambiar las relaciones, y cambiar las relaciones equivale a redefinir las partes. Las partes y las relaciones correspondientes a cada posible TPS están codificadas en el espacio de Hilbert y en el álgebra de operadores que representan al universo y a sus magnitudes físicas. Los haces relacionados no existen antes de las relaciones (como si fueran *thin particulars* o haces de propiedades intrínsecas o como si las relaciones fueran meramente externas), sino que quedan constituidos por las relaciones inherentes o internas entre las partes del haz correspondiente al universo. Los haces relacionados son, de hecho, partes del todo, pero no son objetos básicos y no tienen prioridad ontológica con respecto al todo y su estructura interna, ya que la OPR es una instancia de PM. En este sentido se ha indicado anteriormente (Sección 4) que la clave que permite considerar a los haces en paridad ontológica con las relaciones es el hecho de que la OPR representa una instancia de PM (si el fundacionalismo es previamente aceptado). Sin embargo, se podría argumentar que, dado que la OPR se enmarca en una teoría de haces, que es una “ontología constituyente” (*constituent ontology*), las relaciones deberían tener prioridad ontológica sobre los haces que constituyen. Parece que, después de todo, cualquier propuesta ontológica basada en alguna forma de la teoría de haces (incluidas la OPR y MBT) no podría convertirse en una instancia de MSR. Creemos que tal argumento podría funcionar si los constituyentes de los haces son los elementos básicos de la ontología, como parece ser el caso en MBT. Ese no es ciertamente el caso en la OPR, en la que el único objeto básico es el haz correspondiente al universo.

Aunque la propuesta de Oldofredi (2021) también se concibe como una instancia de MSR, existen algunas diferencias notables. En primer lugar, las relaciones en la propuesta de Oldofredi y las relaciones en la OPR tienen una naturaleza física diferente. Mientras que en RQM son relaciones de interacción, en la OPR son relaciones de entrelazamiento. Los postulados de RQM impiden la existencia de relaciones de entrelazamiento masivas como las que se asumen en la OPR. Una segunda diferencia es que mientras Oldofredi permite que sus haces de propiedades posean propiedades intrínsecas, así como relaciones, en la OPR, como en la propuesta de Candiotta (2017), solo hay relaciones. Por supuesto, es conveniente admitir (desde el punto de vista de la adecuación entre una propuesta de ontología de QM y la práctica física) que los sistemas cuánticos tienen propiedades intrínsecas, ya que en la práctica física hay magnitudes cuyo valor es independiente del estado y se utilizan para caracterizar tipos de partículas. En ese sentido, tanto la OPR como la metafísica de relaciones de Candiotta (2017), junto con cualquier ontología de QM que adopte el marco metafísico general del realismo estructural, enfrentan el desafío adicional de reducir tales magnitudes a relaciones. En referencia a este punto es que la OPR asume que cada magnitud física propiamente cuántica es un observable capaz de asumir un valor definido solamente en relación con otro sistema físico con respecto al cual su estado está entrelazado (Mermin, 1998).<sup>3</sup>

Vale la pena mencionar en esta sección que Esfeld (2017) propone una ontología minimalista que también es una instancia de MSR y es similar a la OPR en algunos aspectos. Según él, todo lo que existe en el mundo son “relaciones de distancia que individualizan objetos simples, es decir, puntos de materia” (p.4). Esfeld considera que las siguientes dos afirmaciones ontológicas son equivalentes: “(a) hay un todo (es decir, el universo) que exhibe una diferenciación interna en términos de relaciones que individualizan una pluralidad de objetos simples dentro del todo. (b) Hay relaciones que individualizan objetos simples de modo que las relaciones y los objetos constituyen una configuración que es el universo” (p.3). Parece que la OPR es una instancia de la afirmación (a) (o al menos se aproxima a la afirmación (a) ya que en la OPR los objetos no son necesariamente simples y las relaciones no suelen individualizar) y la ontología minimalista de Esfeld es una instancia de (b). Mientras que (a) parece ser una forma de holismo compatible con PM, (b) parece ser una forma de atomismo compatible con PP. Debe reconocerse que Esfeld considera que (b) es también una forma de holismo (relacional), lo cual es razonable ya que los objetos simples no tienen propiedades intrínsecas sino solo relaciones inherentes o internas. A pesar de su supuesta equivalencia, Esfeld respalda una ontología que es una instancia de (b) porque considera que las instancias de (b) son más parsimoniosas que las instancias de (a). Consideramos que la cuestión de la parsimonia tiene que seguir siendo discutida ya que no es completamente claro que una ontología en la que el universo depende de una pluralidad de objetos simples sea más parsimoniosa que una ontología en la que una pluralidad de objetos depende de un universo simple. De un modo o del otro, en ambos casos tenemos una estructura compleja que diferencia internamente en (a) o constituye un todo en (b). Nótese que la ontología minimalista de Esfeld añade a (b) que las relaciones son relaciones de distancia y que los objetos son puntos de materia. Desde cierto punto de vista, parece que Esfeld está asumiendo compromisos adicionales en su propuesta ontológica en comparación con los compromisos que toma la OPR. A saber, se compromete con un tipo específico de relaciones que

<sup>3</sup> Excede a los límites de este trabajo ofrecer una explicación detallada de este asunto (para tales intentos, ver Muller, 2011; Esfeld y Lam, 2010).

deben actualizarse: siempre son relaciones de distancia. En la OPR no se especifica qué contexto se actualiza. El compromiso de Esfeld (que se asemeja al compromiso que hace la mecánica bohmiana con el operador de posición) puede crear un conflicto con la contextualidad cuántica, a menos que, por supuesto, se adopte la mecánica bohmiana en lugar de la mecánica cuántica estándar. Otra diferencia importante entre la OPR y la ontología minimalista de Esfeld es que en esta última hay un compromiso con una TPS particular del sistema total: el que produce los objetos más simples posibles (en este sentido parece tener un aspecto atomista). La OPR, por el contrario, no está comprometido con ninguna TPS en particular, solo exige que el estado del universo sea no separable respecto a la TPS adoptada. Podemos adoptar indiferentemente TPSs de “grano fino” y obtener relaciones de muchos términos y subsistemas con muy pocos grados de libertad u otras de “grano grueso” y obtener relaciones de pocos términos y subsistemas con muchos grados de libertad.

## 7. La OPR y la “Relación Constituyente”

Toda teoría de haces se enfrenta al problema de especificar alguna “relación constituyente” (*bundling relation*) que relacione a las propiedades de manera de constituir un haz propiamente dicho, distinguiéndolo así de meras colecciones de propiedades sin correlato ontológico. La naturaleza de la relación constituyente es muy discutida entre los defensores y críticos de las teorías de haces.<sup>4</sup> Esquemáticamente, las teorías de haces en las que las propiedades son instancias particulares de universales utilizan la relación de coinstanciación, y las teorías en las que las propiedades son tropos (elementos básicos particulares y concretos) utilizan la relación de copresencia. En ambos casos, la relación constituyente en cuestión se considera primitiva. Como se mencionó en la Sección 2, Oldofredi (2021) propone una solución alternativa. La relación constituyente adoptada es la relación mereológica que media entre el todo y las partes (Paul, 2017), es decir, las propiedades según este enfoque son las partes del haz que corresponde a un sistema cuántico. Contrariamente, en la OPR, las relaciones mereológicas no se mantienen entre los haces y sus propiedades, sino entre el haz correspondiente al universo y los haces que corresponden a subsistemas. Por lo tanto, en la OPR las relaciones mereológicas no podrían funcionar como la relación constituyente.

Recuérdese que la OPR es tanto una instancia de PM como de MSR, de manera que el único haz que tiene identidad absoluta (dependiente de propiedades intrínsecas) es el haz correspondiente al universo. De aquí que un primer punto a tratar es la especificación de una relación constituyente entre las propiedades intrínsecas del universo. Se puede argumentar que no hay necesidad de especificar tal relación, ya que la constitución del universo se puede tomar como un hecho metafísico primitivo (esto está en línea con la tesis de PM según la cual el único objeto concreto básico es el universo). La necesidad de especificar una relación constituyente que dé lugar a haces propiamente dichos surge cuando hay múltiples formas de agregar propiedades, debiendo distinguir entre agregados que constituyen haces propiamente dichos y otros que no. Dado que no hay propiedades que no pertenezcan al universo, la necesidad de distinguir entre un haz de todas las propiedades propiamente dicho y un haz de todas las propiedades que cuente como mera colección sin correlato ontológico simplemente desaparece. Por esta razón, la constitución del haz correspondiente al

<sup>4</sup> Véase, por ejemplo, Grupp, 2004; Shiver, 2014.

universo se da de modo primitivo, sin necesidad de justificar este hecho subsumiéndolo bajo principio alguno.

Como corolario, en la OPR no hay necesidad de distinguir entre propiedades universales y sus instancias, es decir, las propiedades intrínsecas del universo son, al mismo tiempo, universales y particulares. Su concreción y carácter particular dependen de la concreción y del carácter particular del objeto que constituyen (y no al revés como en las teorías de tropos o en la teoría de haces adoptada por Oldofredi). Al mismo tiempo, su universalidad depende del hecho de que el objeto que constituyen es el único objeto (con identidad absoluta) y que es el universo. Desde la perspectiva del holismo monista, el problema tradicional respecto a la naturaleza de los universales como “uno-en-muchos” parece quedar simplemente disuelto. Desde esta perspectiva, los universales se agotan en una única instancia, en la medida en que el único particular en el que las propiedades se instancian es el universo. Esta característica de la OPR puede hacerla más parsimoniosa en comparación con otras propuestas de ontología de la mecánica cuántica.

Queda por especificar cuál es la relación constituyente para los haces correspondientes a subsistemas. Una posible respuesta a esta pregunta es radical y consiste en negar que los haces de relaciones tengan condiciones de identidad en absoluto. En tal caso, no habría necesidad de especificar una relación constituyente, pero los haces perderían su estatus de objetos. Esta solución mantiene continuidad con la propuesta de la OPP en cuanto a la negación de la condición de objeto de los sistemas cuánticos (ver Sección 1). Sin embargo, una forma menos extrema de abordar este problema es hacer uso de una noción relativizada de objeto. De hecho, los haces de relaciones podrían poseer condiciones de identidad que no derivan de propiedades intrínsecas, sino precisamente de las relaciones en las que se encuentran, que a su vez son las mismas relaciones que los constituyen. La condición de objeto de cada haz puede relativizarse al haz (o haces) con el que está relacionado. En este sentido, esta propuesta se acerca a la de Muller y Saunders (2008) en la que tratan a los sistemas cuánticos como “relacionales” en lugar de individuos. Para ellos, los individuos tienen identidad absoluta, es decir, se distinguen mediante sus propiedades intrínsecas, y los relacionales tienen identidad relativa, es decir, se distinguen mediante sus relaciones. En el caso de que dos objetos tengan las mismas propiedades intrínsecas y relacionales, su diferencia numérica aún puede explicarse mediante la llamada “discernibilidad débil” (*weak discernibility*), si las relaciones simétricas en las que se encuentran son irreflexivas, como se argumenta para los sistemas cuánticos indistinguibles.<sup>5</sup>

Considérese que los elementos constitutivos de los haces de relaciones no pueden asimilarse a propiedades intrínsecas que existen con independencia de su agrupamiento en un haz o en otro. Al contrario, en la OPR, las relaciones se definen al mismo tiempo que los pares (o “*n*-tetos” si se adoptan TPSs multipartitas) de haces recíprocos que se constituyen por medio de ellas. En consecuencia, a diferencia de las teorías de haces de propiedades intrínsecas en las que es necesario postular, además de las propiedades, una relación primitiva de naturaleza puramente metafísica para obtener haces propiamente dichos, parece que, en la teoría de haces de relaciones propuesta por la OPR, las mismas relaciones que se agrupan tienen el efecto constituyente requerido. De hecho, los haces correspondientes a subsistemas no se constituyen uno por uno en virtud de la agregación de

<sup>5</sup> Más sobre este punto en la Sección 9, donde se trata el problema de la indistinguibilidad.

una serie de relaciones, sino que se constituyen de una sola vez en virtud de la diferenciación interna entre partes que cierto conjunto de relaciones produce dentro del haz correspondiente al universo (cada conjunto de relaciones corresponde a una TPS). Las relaciones de la OPR se agrupan de tal manera que dan lugar a partes complementarias del todo. Pero la partición del todo es a su vez la que define a las relaciones. Por lo tanto, las relaciones de la OPR se agrupan necesariamente formando determinado conjunto de haces complementarios. No hay lugar para que las relaciones constituyan haces propiamente dichos o bien meras colecciones. Además, el agrupamiento de las relaciones de la OPR no es análogo al agrupamiento de propiedades intrínsecas en el que algunas propiedades intrínsecas forman un haz y otras propiedades intrínsecas forman otro haz. Aquí tenemos que, dada una TPS, todas las relaciones intervienen en la constitución de cada haz. Estas relaciones corresponden exactamente a las correlaciones que el formalismo de QM permite definir cuando el estado del sistema total es no separable. No tienen una naturaleza puramente metafísica y primitiva, evitando así los conocidos problemas que surgen en las teorías de haces respecto a la naturaleza de la relación constituyente.

En resumen, junto con la disolución del problema de los universales que nos permite considerar que la constitución del haz correspondiente al universo es un hecho primitivo, esta posibilidad de reducir la relación constituyente de los haces correspondientes a subsistemas a relaciones físicas claramente definidas, sin recurrir a una relación de naturaleza puramente metafísica, puede constituir una ventaja adicional de la OPR, nuevamente, en términos del principio metodológico de parsimonia.

La cuestión referida a la identidad diacrónica del haz correspondiente al universo y de los haces de relaciones correspondientes a subsistemas en la OPR no ha sido abordada aquí. Sin embargo, se puede sugerir que este problema desaparecería si junto con la OPR adoptáramos el llamado *timeless approach* para tratar la cuestión del tiempo<sup>6</sup>, que reduce el tiempo externo a correlaciones internas entre subsistemas del universo, como las postuladas en la OPR. Para lograrlo, sería suficiente añadir al supuesto (6) que el estado del universo es estacionario, es decir, un autoestado del Hamiltoniano.

## 8. La OPR y la Contextualidad Cuántica

En lo que respecta a la contextualidad cuántica, la OPR imita exactamente el enfoque de la OPP. Se acepta como principio que tanto las propiedades actuales como las meramente posibles pueden coexistir. Tanto en la OPP como en la OPR, los haces, ya sean de propiedades intrínsecas o de relaciones, se definen directamente en el dominio de lo posible. Son haces de propiedades-tipo o de relaciones-tipo no determinadas. A cada propiedad-tipo o relación-tipo le corresponde, respectivamente, un conjunto de propiedades-caso posibles o de relaciones-caso posibles. De esta manera, tanto la OPP como la OPR se ajustan a las restricciones impuestas por la contextualidad cuántica y al teorema de Kochen y Specker (1967). Por supuesto, esta característica de la OPR la hace especialmente adecuada para las interpretaciones modales. La OPR no especifica qué contexto particular se toma como actualizado. Ese punto queda reservado para ser especificado mediante la regla de actualización incluida en los postulados interpretativos de las interpretaciones modales. Si adoptamos MHI, entonces el contexto definido por el operador Hamiltoniano es el elegido. Si se

<sup>6</sup> Sobre el llamado *timeless approach*, ver Marletto y Vedral, 2017; Page y Wootters, 1983.

adopta BDMI, SDMI o PMI, el contexto que debe actualizarse es el definido por el operador densidad que representa el estado del sistema (Dieks, 2021). Diferentes motivaciones (además de la adecuación empírica) pueden guiar la elección de una regla de actualización u otra.

En cuanto a las propiedades actuales del único haz de propiedades intrínsecas que la OPR acepta, es decir, el haz correspondiente al universo, la OPR difiere ligeramente de la OPP. Según el postulado (3'), dicho haz se define no solo como un conjunto de propiedades-caso posibles correspondientes a instancias de propiedades-tipo. Además, se especifican ciertas propiedades-caso actuales. Las propiedades actuales del haz correspondiente al universo quedan determinadas por el estado del universo. Este movimiento es necesario ya que la OPR selecciona precisamente aquellas propiedades-caso del haz correspondiente al universo que son equivalentes a las relaciones-tipo que los subsistemas tienen cuando el estado del sistema total es no separable con respecto a esos subsistemas. Si en este punto dejamos de lado EEL y aplicamos al haz correspondiente al universo una regla de actualización alternativa, se podrían obtener propiedades-caso correspondientes a autoestados del sistema total que son separables con respecto a los subsistemas. En consecuencia, las propiedades intrínsecas del sistema total no equivaldrían a relaciones entre los subsistemas. Serían propiedades del todo que se pueden descomponer en propiedades intrínsecas de las partes. Esto atentaría contra la imagen holista y relacional que la OPR pretende ofrecer. Ciertamente, esa regla de actualización mínima incorporada en la OPR representa una concesión parcial a EEL. Recordemos la formulación de EEL: un sistema tiene cierta propiedad, es decir, un observable determinado posee cierto valor definido, si y solo si su estado es el autoestado correspondiente a ese autovalor. La OPR admite el primer condicional de ELL (pero no el "solo si") ya que las propiedades actuales del universo según la OPR corresponden a los autovectores de observables que coinciden con el estado del universo. Entonces, si se adopta una interpretación modal junto con la OPR, su regla de actualización podrá ir en contra del condicional "solo si" de EEL, pero no en contra del primer condicional, como de hecho ocurre en todas las interpretaciones modales excepto MHI, que rechaza los dos condicionales de ELL. Esto se debe a que (1) para el haz correspondiente al universo, el estado es el autovector común a un conjunto de observables compatibles que corresponde precisamente a sus propiedades-caso actuales; y (2) para los haces correspondientes a subsistemas, sus estados (si se permite hablar de los estados de sistemas entrelazados) no pueden ser estados vector y por tanto no podrían ser autovectores de ningún observable. En consecuencia, el primer condicional de EEL ("si") se cumple para el haz correspondiente al universo y se cumple vacuamente para los haces correspondientes a subsistemas. El segundo condicional de EEL ("solo si"), aunque debe cumplirse para el haz correspondiente al universo, dejaría de cumplirse apenas se asignen relaciones-caso actuales a los haces correspondientes a los subsistemas.

## 9. La OPR y la Indistinguibilidad Cuántica

PII fue concebido para dar cuenta de las condiciones de identidad de haces de propiedades sin recurrir a la noción metafísica de substrato. Por supuesto, adoptar una teoría de haces para dar cuenta de sistemas cuánticos indistinguibles pero numéricamente diferentes plantea un desafío. Como se mencionó anteriormente, la OPP aborda este desafío al apelar precisamente al carácter modal de las propiedades que constituyen a los haces (ver Sección 1). Dos instancias de la misma propiedad-tipo son indistinguibles si tienen las mismas propiedades-caso posibles. Si las instancias de propiedades-

tipo que constituyen dos haces estuvieran todas determinadas, es decir, si se pudiera asignar una (y solo una) propiedad-caso actual a cada una de las instancias de propiedades-tipo (como se asume ocurre en los haces clásicos) y si esas instancias de propiedades-tipo, además de tener las mismas propiedades-caso posibles, poseyeran la misma propiedad-caso actual, entonces se aplicaría PII y la distinción numérica entre los dos haces desaparecería. Sin embargo, debido a la contextualidad cuántica, los haces cuánticos siempre tienen al menos algunas instancias de propiedades-tipo no determinadas, es decir, para las cuales se pueden especificar propiedades-caso posibles, pero no cuál de ellas es la propiedad-caso actual. Este es precisamente el punto que permite a la OPP superar el desafío que la indistinguibilidad cuántica impone a PII. De hecho, dos haces de instancias de propiedades-tipo pueden ser indistinguibles en cuanto a sus propiedades-caso posibles y, sin embargo, ser numéricamente diferentes ya que aún pueden diferir en alguna propiedad-caso actual, aunque eso nunca ocurra en la actualidad. En ese sentido, es aceptable que PII no se aplique a haces de propiedades meramente posibles.

Pasemos ahora a la misma cuestión en la OPR. En primer lugar, se debe reconocer la legitimidad de la estrategia adoptada por la OPP. Si el haz correspondiente al universo se pudiera comparar con un universo indistinguible en términos de sus propiedades posibles, es razonable suponer que solo subsistiría una diferencia numérica en virtud de los principios adoptados en la estrategia de la OPP. Sin embargo, en el caso de los haces correspondientes a subsistemas, la estrategia podría ser otra. En lugar de bloquear la aplicación de PII, se puede recurrir a una forma de PII en la que se admita que las relaciones simétricas pero irreflexivas son capaces de establecer una diferencia numérica. Esta es el enfoque de la “discernibilidad débil” (*weak discernibility*) propuesta por Muller y Saunders (2008). De hecho, debido a la naturaleza metafísica de las relaciones, se requiere la diferencia numérica entre al menos dos relata, ya que nada puede estar en una relación irreflexiva consigo mismo (Esfeld y Lam, 2010, p.148). Existe una correspondencia natural entre las relaciones a partir de las cuales sería posible discernir débilmente numéricamente y las correlaciones cuánticas entre sistemas indistinguibles. En efecto, la mecánica cuántica exige simetrizar o antisimetrizar el estado de un sistema compuesto por subsistemas indistinguibles. Tal operación de simetrización o antisimetrización necesariamente produce estados entrelazados para los subsistemas, que es la condición que generalmente establece el supuesto (6) en la OPR para todos los subsistemas del universo (indistinguibles o distinguibles). No es una contingencia que las relaciones simétricas e irreflexivas en las que Muller y Saunders (2008, p.535) centran su atención puedan encuadrarse dentro de las relaciones definidas en el postulado (4’) de la OPR. Como ventaja adicional de adoptar la discernibilidad débil en el contexto de la OPR, se obtiene que, en virtud del supuesto (6) de la OPR, no solo se distinguen de manera categórica los fermiones, sino también los bosones. De hecho, los estados producto en los que los bosones se distinguen solo de manera probabilística (pero no categórica) están prohibidos por el supuesto (6). La posibilidad de esta combinación natural entre la discernibilidad débil y la OPR representa una ventaja comparativa de la OPR con respecto, por ejemplo, a la propuesta de Oldofredi, en la cual la diferencia numérica entre sistemas idénticos debe ser aceptada como una “diferencia sin fundamento”.

## Consideración Final

En el presente trabajo se ha ofrecido una propuesta para una ontología de haces de relaciones posibles para la mecánica cuántica (OPR), que podría asociarse con una interpretación de naturaleza modal. El núcleo teórico de la presente propuesta es la ontología ya establecida de haces de propiedades intrínsecas posibles. La OPR acomoda en una ontología de propiedades posibles los aspectos relacionales de la mecánica cuántica basados en el fenómeno del entrelazamiento cuántico. Se ha obtenido que la OPR resulta una instancia tanto del monismo de prioridad como del realismo estructural moderado. La OPR parece abordar adecuadamente los problemas de la contextualidad y la indistinguibilidad cuánticas. También se ha sugerido que la presente propuesta es parsimoniosa en varios aspectos: prescinde de sustratos, propiedades intrínsecas (para los haces correspondientes a subsistemas), de relaciones constituyentes (*bundling relations*) y podría contribuir a aclarar el problema de los universales. Además, se ha señalado que la OPR podría complementar ventajosamente a la discernibilidad débil (*weak discernibility*) y al enfoque atemporal (*timeless approach*).

## Referencias

- Bene, G. y Dieks, D. (2002). A perspectival version of the modal interpretation of quantum mechanics and the origin of macroscopic behavior. *Foundations of Physics*, 32: 645-671. <https://doi.org/10.1023/A:1016014008418>
- Calosi, C. (2022). Quantum modal indeterminacy. *Studies in History and Philosophy of Science* 95, 177-184. <https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2022.08.012>
- Candiotto, L. (2017). The reality of relations. *Giornale di Metafisica*, vol 2/2017, pp. 537-551. <http://philsci-archive.pitt.edu/id/eprint/14165>
- da Costa, N. y Lombardi, O. (2014), Quantum mechanics: Ontology without individuals. *Foundations of Physics*, 44: 1246-1257. <https://doi.org/10.1007/s10701-014-9793-1>
- da Costa, N., Lombardi, O. y Lastiri, M. (2013). A modal ontology of properties for quantum mechanics, *Synthese*, 190: 3671–3693. <https://doi.org/10.1007/s11229-012-0218-4>
- Dieks, D. (1988). The formalism of quantum theory: an objective description of reality? *Annalen der Physik*, 7: 174–190. <https://doi.org/10.1002/andp.19885000304>
- Dieks, D. (1989). Resolution of the measurement problem through decoherence of the quantum state. *Physics Letters A*, 142: 439-446. [https://doi.org/10.1016/0375-9601\(89\)90510-0](https://doi.org/10.1016/0375-9601(89)90510-0)
- Dieks, D. (2021). Modal interpretations of quantum mechanics. En: Freire, O. (ed.), *Oxford Handbook of the History of Interpretations of Quantum Mechanics*, Oxford: Oxford University Press, Cap. 47. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198844495.013.0048>
- Earman, J. (2015). Some Puzzles and Unresolved Issues About Quantum Entanglement. *Erkenntnis* 80, 303–337. <https://doi.org/10.1007/s10670-014-9627-8>

- Einstein, A., Podolsky, B., y Rosen, N. (1935). Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? *Physical Review*, 47: 777–780. <https://doi.org/10.1103/PhysRev.47.777>
- Esfeld, M. (2001). The Meaning of Quantum Holism. En: *Holism in Philosophy of Mind and Philosophy of Physics*. Synthese Library, vol 298. Springer, Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1787-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1787-8_8)
- Esfeld, M. (2004). Quantum Entanglement and a Metaphysics of Relations, *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*, 35: 601–17. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2004.04.008>
- Esfeld, M. (2017). A proposal for a minimalist ontology. *Synthese* 197: 1889–1905. <https://doi.org/10.1007/s11229-017-1426-8>
- Esfeld, M. y Lam, V. (2010). Ontic Structural Realism as a Metaphysics of Objects. En: Bokulich, A., Bokulich, P. (eds.) *Scientific Structuralism*. Boston Studies in the Philosophy and History of Science, vol. 281. Springer, Dordrecht, pp. 143-159. [https://doi.org/10.1007/978-90-481-9597-8\\_8](https://doi.org/10.1007/978-90-481-9597-8_8)
- French, S. y Krause, D. (2006), *Identity in Physics: A Formal, Historical and Philosophical Approach*, Oxford: Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/0199278245.001.0001>
- Grupp, J. (2004). Compresence Is A Bundle: A Problem For The Bundle Theory Of Objects. *Metaphysica* 5 (2):63-72.
- Howard, D. (1989). Holism, Separability, and the Metaphysical Implications of the Bell Experiments. En: Cushing, J. T. y McMullin, E. (eds.). *Philosophical Consequences of Quantum Theory*. University of Notre Dame Press, pp. 224-253. <https://undpress.nd.edu/9780268015794/philosophical-consequences-of-quantum-theory/>
- Kochen, S. (1985), A new interpretation of quantum mechanics. En: Lahti, P. J. and Mittelstaedt, P. (eds.). *Symposium on the Foundations of Modern Physics*. Singapore: World Scientific, pp. 151-169. <https://doi.org/10.1142/9789814542098>
- Kochen, S. y Specker, E. (1967), The problem of hidden variables in quantum mechanics. *Journal of Mathematics and Mechanics* 17: 59-87. <http://dx.doi.org/10.1512/iumj.1968.17.17004>
- Ladyman, J. (2020), Structural Realism. En: Zalta, E. N. (ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2020 Edition). <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/structural-realism/>
- Ladyman, J., Ross, D., Spurrett, D. y Collier, J. (2007). *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*. Oxford University Press, Oxford. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199276196.001.0001>
- Laudisa, F. y Rovelli, C. (2021). Relational Quantum Mechanics. En: Zalta, E. N. (ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2021 Edition). <https://plato.stanford.edu/archives/win2021/entries/qm-relational/>

- Lombardi, O. (2023). Not individuals, nor even objects: On the ontological nature of quantum systems. En: Becker Arenhart, J. R. y Wohnrath Arroyo, R. (Eds.) *Non-Reflexive Logics, Non-Individuals, and the Philosophy of Quantum Mechanics*. Springer Synthese Library. pp.47-62. <https://link.springer.com/book/9783031318399>
- Lombardi, O. y Castagnino, M. (2008), A modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics. *Studies in History and Philosophy of Modern Physics* 39: 380-443. <https://doi.org/10.1016/j.shpsb.2008.01.003>
- Marletto, C. y Vedral, V. (2017). Evolution without evolution and without ambiguities. *Physical Review D* 95: 043510. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.95.043510>
- Mermin, N. D. (1998). What is quantum mechanics trying to tell us? *American Journal of Physics* 66, 753–767. <https://doi.org/10.1119/1.18955>
- Muller, F. A. (2011) Withering away, weakly. *Synthese* 180, 223–233. <https://doi.org/10.1007/s11229-009-9609-6>
- Muller, F. A. y Saunders, S. (2008). Discerning Fermions. *The British Journal for the Philosophy of Science* 59 (3): 499-548. <http://dx.doi.org/10.1093/bjps/axn027>
- Oldofredi, A. (2021). The Bundle Theory Approach to Relational Quantum Mechanics. *Foundations of Physics* 51 (1):1-22. <https://doi.org/10.1007/s10701-021-00407-2>
- Page D. N. y Wootters W. K. (1983). Evolution without evolution: Dynamics described by stationary observables. *Physical Review D* 27: 2885. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.27.2885>
- Paul, L. (2017). A One Category Ontology. En: Keller, J. (ed.) *Being, Freedom and Method. Themes from the Philosophy of Peter van Inwagen*. Oxford University Press, Oxford. Pp. 32-61. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198715702.003.0003>
- Rovelli, C. (1996). Relational quantum mechanics. *Int. J. Theor. Phys.* 35(8): 1637–1678. <https://doi.org/10.1007/BF02302261>
- Schaffer, J. (2010a). Monism: The Priority of the Whole. *Philosophical Review* 119: 31–76. <https://doi.org/10.1215/00318108-2009-025>
- Schaffer, J. (2010b). The Internal Relatedness of All Things. *Mind*, Volume 119, Issue 474, April 2010, Pages 341–376, <https://doi.org/10.1093/mind/fzq033>.
- Schaffer, J. (2018). Monism. En: Zalta, E. N. (ed.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2018 Edition). <https://plato.stanford.edu/archives/win2018/entries/monism>
- Shiver, A. (2014). Mereological bundle theory and the identity of indiscernibles. *Synthese* 191, 901–913. <https://doi.org/10.1007/s11229-013-0298-9>
- Teller, P. (1986). Relational holism and quantum mechanics. *British Journal for the Philosophy of Science* 37, 71–81. <https://www.journals.uchicago.edu/doi/10.1093/oxfordjournals.bjps/37.1.71>

- Vermaas, P. (1998). The pros and cons of the Kochen–Dieks and the atomic modal interpretation. En: Dieks, D. y Veermas, P. (eds.). *The modal interpretation of quantum mechanics*. Dordrecht: Kluwer: pp. 103–148. [https://doi.org/10.1007/978-94-011-5084-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-94-011-5084-2_5)
- Vermaas, P. and Dieks, D. (1995). The modal interpretation of quantum mechanics and its generalization to density operators. *Foundations of Physics* 25: 145-158. <https://doi.org/10.1007/BF02054662>