

## La filosofía frente al objeto cuántico

J.A. López Mosqueda

*Departamento de Filosofía, División de Ciencias Sociales y Humanidades  
Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, Mineral de Valenciana, 36240 Guanajuato, Gto.*

V. Aboites

*División de Fotónica, Centro de Investigaciones en Óptica,  
Loma del Bosque 115 Col. Campestre, 37150 León, Gto.*

Received 26 May 2016; accepted 28 March 2017

Con frecuencia la física cuántica y con ella la historia de su desarrollo suele presentarse como uno de los logros científicos e intelectuales más destacados del siglo XX. Por otra parte, y es algo que no resulta del todo novedoso, se sabe que la caracterización de esta área de la física como “revolucionaria” ha dependido en buena medida de sus consecuencias a nivel científico, teórico y experimental, pero también a nivel de los problemas filosóficos que ha ventilado desde su origen. No obstante, desde el punto de vista de la filosofía consideramos que si bien el conocimiento que se tiene actualmente de los horizontes filosóficamente fecundos de la física cuántica no es del todo limitado, es necesario, a favor de una mayor profundización, volcar nuestra atención en el problema ontológico del objeto cuántico.

En este sentido este trabajo representa el esfuerzo de elaborar una reflexión filosófica referente a la cuestión sobre la naturaleza del objeto cuántico. Una suposición de orden general advierte, en principio, que la realidad está compuesta de objetos, cosas o entidades mismos que se encuentran en cualquier teoría, tanto física, como filosófica. Frente a ello y como actividades fundamentalmente generadoras de conocimiento efectivo la física, así como la filosofía, necesariamente deben asumir el compromiso de definir y delimitar el estatus ontológico de las entidades que postulan. De cara a esta consigna la física cuántica supone una significativa dificultad en materia ontológica dado que, al interior de sus presupuestos fundamentales, el comportamiento y las propiedades de las entidades subatómicas implican la violación del principio ontológico de identidad (y otras de sus formas como las relaciones de causalidad); la descripción del mundo físico, manifiesta en la teoría cuántica, introduce elementos como la incertidumbre, la no-identidad y la falta de localidad puntual lo que, en términos generales, implica, por un lado, la emergencia de un nuevo tipo de científicidad y, por otro, una auténtica reformulación ontológica. Dado que los objetos de la teoría cuántica distan de ser los exhibidos por la física clásica, surge la interrogante acerca del cómo son, ontológicamente, los objetos postulados por una teoría con las peculiaridades exhibidas por la física cuántica (qué son, cómo son y qué determinaciones ontológicas tienen, es decir, qué ontología subyace a estas entidades y qué tipo de ontología implica la teoría cuántica). Con esto en consideración, se discute que el enfoque ontológico de la física cuántica en términos de potencialidad-actualidad guarda semejanza respecto a los conceptos “acto” y “potencia” utilizados en la Metafísica de Aristóteles para explicar el devenir del Ser. Finalmente se señala que la ontología intrínseca de la mecánica cuántica exhibe abiertamente que la realidad, lejos de ser simple, concreta y unívoca implica una creciente complejidad. El examen filosófico-ontológico del objeto cuántico conduce a afirmar que la ciencia contemporánea ha adquirido, paulatinamente, un carácter múltiparadigmático: manifiesta de manera significativa la necesidad de incorporar nuevos conceptos, nuevos horizontes de representación y nuevos modos de ser.

*Descriptor:* Filosofía de la ciencia; mecánica cuántica; ontología; epistemología.

Often, the quantum physics and the story of its development are presented as one of the greatest scientific and intellectual achievements of XX Century. However, and this is not completely new, it is well known that identifying physics as “revolutionary” has depended largely on its scientific, theoretical and experimental consequences, but also on the level of the philosophical problems it has vented since its inception. However, from the point of view of philosophy, we consider that, although the current knowledge of the philosophically fertile horizons of quantum physics is not completely limited, it is necessary, in favor of further deepening, to turn our attention to the ontological problem of the quantum object. In this sense this work represents the effort to elaborate a philosophical reflection on the question about the nature of the quantum object. Starting from a general supposition according to which reality is made up of objects, things or entities and that these “objects” are found in any physical or philosophical theory, the duty of defining and limiting the ontological status of the entities it postulate is under discussion. However, quantum physics entails a extraordinary difficulty facing this requirement since the behavior and properties of the subatomic entities implies the cancelation of the fundamental ontological principle of identity-causality; its description introduces in the physical world elements such as uncertainty, absence of identity and the lack of punctual locality and, which, in general terms, imply, on one hand the emergency of a new kind of science and on the other hand an ontological reformulation. Given than the objects of quantum theory are far from the ones exhibited by the classic physics, the need to answer the following questions arises: How are, ontologically speaking, the objects postulated by a theory with the peculiarity of quantum physics?, what are they?, how are they and what ontological determinations do those possess?, what ontology is behind these entities? What kind of ontology implies the quantum theory? With all of this under consideration, it is discussed that the ontological focus of quantum physics in terms of potentiality-actuality it is reminiscent to the concepts of “act” and “power”, used in Aristotle Metaphysics in order to explain the transformation of the Being. Finally it is pointed out that the ontology behind quantum mechanics openly shows that reality is far from being even, simple and concrete; it implies a great and growing complexity that appertain to the very self development of the science in general. This philosophical and ontological exam of the quantum entities lead to assert that contemporary science has acquired a multi-paradigmatic character, revealing that reality is not univocal and has different manifestations and ways to be.

*Keywords:* Philosophy of science; quantum mechanics; ontology; epistemology.

PACS: 01.70.+w; 01.65.+g; 03.65.-w

## 1. Introducción

La física y la filosofía constituyen dos áreas del saber humano que, desde sus orígenes, han dirigido sus esfuerzos a estudiar, examinar y comprender lo que quizá representa el problema más fundamental de la humanidad: el problema de lo real. La historia del pensamiento filosófico y científico, en buena medida, se ha caracterizado como el escenario en el que convergen múltiples teorías, pensamientos y reflexiones centrados en dicho tópico. Para la filosofía, el problema de lo real ha sido un tema central, pero en los últimos años las ciencias naturales, y en particular la física, se han convertido en un destacado referente en lo que respecta al conocimiento y examen de dicho problema teniendo como consecuencia que en la actualidad la filosofía y la física, tal como ocurrió durante la Modernidad, devengan en colindantes.

Ahora bien, las teorías físicas contemporáneas, como la teoría cuántica, la teoría de la relatividad o el modelo estándar de partículas elementales, representan hasta hoy la última palabra en lo que se refiere al conocimiento de los componentes elementales del mundo físico. En su conjunto éstas y otras teorías involucran una concepción del mundo físico y, en virtud de ello, incorporan un fuerte componente filosófico. Frente a esto, y desde el punto de vista de la filosofía, se hace necesario asumir que toda concepción del mundo físico debe contemplar e involucrar una o más teorías físicas, ya que éstas revelan, por su cuenta, una porción, una faceta o una cara de la realidad. Naturalmente, ni la física ni la filosofía afirman categóricamente qué es lo real, o qué es la realidad. Para la filosofía ésta es una cuestión abierta, no clausurada y sin respuesta. Por su lado, a la física actual no le interesa saber qué “es” la realidad, antes bien, le compete el describir un fragmento, un horizonte de la misma en términos de realidad física; la física es, en sí misma, una descripción peculiar de la realidad.

Por otro lado, partiendo de una suposición de orden general, se sabe que la realidad se encuentra compuesta de entidades y éstas se encuentran invariablemente en cualquier teoría, tanto física, como filosófica. En cualquier caso, toda teoría debe, por principio de compromiso ontológico, definir y delimitar el estatus ontológico de las entidades que postula [1]. Empero, en el terreno de la física, la teoría cuántica supone, como ninguna otra teoría, una significativa dificultad de cara a esta exigencia, ya que el comportamiento y propiedades de las entidades subatómicas parece conducir a la violación y posterior anulación o suspensión del principio ontológico de identidad; introduce en la descripción de sus fenómenos elementos como la incertidumbre, la ausencia de identidad y la falta de localidad puntual. En contraste, los objetos de la física clásica, descritos a través de un determinismo causalista, resultan plenamente cognoscibles e intuitivos como “cuer-

pos”, con relaciones espacio-temporales definidas. Frente a este panorama es indispensable preguntarse, filosóficamente, cuál es la naturaleza ontológica de las entidades cuánticas, es decir, qué determinaciones ontológicas tienen e intentar detallar, en la medida de lo posible, la ontología subyacente de la física cuántica.

El cuestionamiento respecto a la naturaleza ontológica de las entidades cuánticas no es ingenuo, dado que resulta indispensable exhibir, a manera de consigna filosófica, que la teoría cuántica (y sus consecuencias) supone una ruptura, una mutación ontológica a todo nivel de representación, ruptura que, tanto científica como filosóficamente, no resulta de fácil asimilación. La física cuántica en su despliegue trajo consigo una mutación sin parangón en la que entra en juego un nuevo tipo de científicidad, un nuevo tipo de objetividad y, en el fondo, un nuevo tipo de ontología. El propio Max Planck (1941), pionero de la mecánica cuántica, aseguraba (pese al recelo ocasionado por su orientación científica ortodoxa) que resulta fundamental, en física, poner en ejercicio una nueva científicidad, es decir, una nueva manera de hacer ciencia. Y esto es algo que va más allá de la voluntad de las comunidades científicas, pues ocurre por la propia necesidad de la ciencia. A su vez, Louis de Broglie, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger, Paul Dirac, entre otros físicos que formaron parte de la segunda oleada de físicos cuánticos, coincidirán en la opinión de que el hecho de encontrarse o postular, en una nueva física, objetos “escurridizos” o nuevas entidades situadas más allá de la representación de objetos en el orden de lo ordinario, indica que, en efecto, es necesario concebir un nuevo tipo de objetividad, acompañada de una ontología que contemple estos “objetos”, cuya existencia peculiar está definida por la simultaneidad, la no localidad, la “no identidad”, la “no permanencia” y cuyo acceso a nivel epistémico sea capaz de contemplar elementos tales como la disgregación, la aniquilación y, en fin, una nueva forma de empiria, diametralmente opuesta al “contacto empírico puro” más propio de la física clásica.

En notable que los desarrollos y consecuencias de la física cuántica involucran el replanteamiento de conceptos, de marcos teóricos y, por ende, la redefinición de nociones tales como objetividad, realidad e incluso existencia, lo que da lugar a un horizonte de problemáticas extra científicas. En virtud de ello la física actual, necesariamente, debe ser objeto de una reflexión filosófica en la medida en que el horizonte de representaciones de la ciencia contemporánea, sus consecuencias y sus resultados, calan profundamente en la visión humana de la totalidad y en la interpretación de lo real a partir de ella. Heisenberg señalaba acertadamente que “[...] todo trabajo científico está basado, consciente o inconscientemente, en una posición filosófica o una determinada estructura mental, que prestan al pensamiento un sólido punto de parti-

da. Sin esta definida actitud los conceptos y las asociaciones de ideas difícilmente podrían alcanzar el grado de claridad y de lucidez esencial para el trabajo científico. La mayoría de los científicos están dispuestos a aceptar nuevos datos empíricos y reconocer nuevos resultados con tal de que quepan dentro del marco de su posición filosófica. Pero en el curso del programa científico puede ocurrir que toda una gama de datos empíricos sólo puede ser cabalmente comprensible haciendo el enorme esfuerzo de ensanchar el marco filosófico y modificar la misma estructura del pensamiento” [2].

Si se atiende la exigencia de Heisenberg, resulta evidente que la ciencia, además de asumir la responsabilidad de examinar las implicaciones de su propio quehacer en constante evolución (aparición de nuevos datos, teorías, enfoques, entidades), debe tomar plena conciencia de la necesidad fundamental de acompañarse de una filosofía con carácter abierto que se encuentre posibilitada, antes que a confrontar, fundamentar o justificar las elaboraciones de la ciencia, a girar los ojos hacia sí misma con un enfoque crítico. Con ello a la vista, y de manera tangencial, el presente examen también pretende el contribuir a una reflexión justamente sobre el estatus actual de la filosofía. Esto importa en la medida en que actualmente la filosofía, más que la propia ciencia, se ha mostrado desprovista de un compromiso ontológico frente a sí misma y frente a importantes esferas de la actividad humana como lo es la propia física. A propósito de ello, es viable adelantar que una de las grandes insolencias y limitaciones del discurso filosófico actual es, siguiendo a Adorno, el haberse “olvidado” de las ciencias naturales [3] como si éstas fuesen una especie de “enemigo público”, para pasar a centrar su atención en un espacio más cómodo, más seguro, más frívolo y autocomplaciente como el terreno de lo espiritual, lo religioso, lo político o lo artístico .

En este estado situacional, el examen del “objeto cuántico” resulta el pretexto oportuno para ensayar o acaso abrir esferas de reflexión auto-crítica que, tanto al nivel de la ciencia como de la filosofía, contribuyan a comprender de una manera integral e integradora la realidad. En otras palabras, el propósito del presente trabajo, como se advierte, es el de establecer una reflexión en torno al objeto cuántico en su sentido ontológico, es decir, pronunciarse (al menos provisionalmente) respecto a cómo ha de ser entendido el objeto cuántico. Este ejercicio, al mismo tiempo, permitirá evaluar las condiciones en las que se encuentra la ontología frente a la física y la posibilidad de su reformulación de cara a la ciencia contemporánea. Para obtener este cometido es importante tener en consideración tres momentos: a) advertir que los objetos de conocimiento de la física actual difieren, ontológica y epistémicamente, respecto a los objetos descritos en concepciones anteriores, b) reconocer la importancia que tienen las varias interpretaciones de la teoría cuántica al momento de tratar de comprender la dinámica ontológica de sus entidades, y c) identificar los principales problemas ontológicos que se hacen manifiestos en la teoría cuántica y que inciden directamente en la comprensión de las entidades cuánticas.

## 2. Los objetos de conocimiento

A inicios del siglo XX múltiples ramas de la física manifestaron un desarrollo significativo y sin precedentes, entre ellas la teoría de la relatividad, la teoría cuántica y más recientemente el modelo estándar de partículas elementales, la teoría de la gravedad cuántica, y la llamada teoría de supercuerdas. Estas teorías han puesto en marcha una nueva científicidad, un nuevo modo de hacer ciencia en virtud de que han desarrollado sus propios condicionamientos lógicos, epistemológicos y ontológicos. En consecuencia, dichas teorías han adquirido una característica compartida: generaron (y aún lo hacen) una nueva representación del mundo físico que se encuentra radicalmente distanciada del sentido común y de las representaciones ordinarias del ser humano. En este contexto, existe una clara diferencia entre la ciencia moderna y la ciencia contemporánea.

La medición, la experimentación, la observación y demás procedimientos, en materia de investigación de la física clásica moderna, fueron formulados a escala de las representaciones sensoriales ordinarias. En este sentido, por ejemplo, comprender las relaciones matemáticas utilizadas por Newton para explicar los fenómenos naturales no significó, en la Modernidad, una seria dificultad conceptual, en la medida en que no existía ningún impedimento lógico, teórico o metodológico para representar los objetos de los que hablaba la física: un cuerpo se asume como perfectamente ponderable, situado en un tiempo y un espacio, con movimiento, con regularidades, etc.

Por su lado, en el mundo subatómico estudiado por la física actual, se supone que los constituyentes “últimos” de la realidad física son los quarks y leptones que, unidos por gluones, componen las partículas elementales de las que está hecha la materia. Como “último reducto de la realidad”, estas partículas-unidades no se “ven” en el sentido de la observación empírica clásica ya que, en este punto, las pruebas experimentales de su existencia las caracterizan como “datos”. Estas entidades, además, son difícilmente discernibles, carecen de identidad, de continuidad y suelen poseer una existencia intermitente. Frente a esto resulta oportuno preguntarse ¿cómo es posible que los bloques de materia, los objetos con los que se interactúa en la vida ordinaria estén hechos de entidades de esta naturaleza?

Esta situación revela que el encuentro con estos nuevos objetos de conocimiento (producidos, estipulados, ponderados o postulados gracias al trabajo científico) aleja a los mismos de la intuición inmediata y de las representaciones ordinarias. Esto supone, sin duda, una “fractura” sin parangón del sentido de realidad, situación que no había tenido lugar, ni en la ciencia pre-moderna, ni en la moderna; por vez primera la ciencia revela una realidad más amplia y estructuralmente, a nivel ontológico, distinta e irreductible. La ciencia contemporánea, a diferencia de lo que se creyó en el desarrollo de la ciencia clásica moderna se encuentra imposibilitada para esclarecer la totalidad de fenómenos que rodean al hombre y, por el contrario, pone de manifiesto que la totalidad es in-

trínsecamente compleja: lo que se conoce en la realidad no es más que un fragmento, una “punta de iceberg”, una pieza por demás acotada de lo real. Éste es el tipo de problemas que están en juego en la física contemporánea.

Frente a semejante panorama, una filosofía razonable y carente de prejuicios, en última instancia, tendría que advertir que la física impone un sentido de realidad. Y corresponderá a la filosofía el esclarecer los componentes, directrices, lineamientos y consecuencias de este sentido de realidad. En otros términos, la filosofía debe asumir como una tarea prioritaria el análisis de los objetos-entidades postulados, en este caso por la física, ya que ello recae directamente en la cuestión del conocimiento efectivo de la realidad del mundo asumiendo, como premisa epistemológica y ontológica esencial, que el conocimiento del mundo es el conocimiento de “algo”, sean entidades, objetos o percepciones de objetos. En esta tónica es evidente que el asumir un realismo “ingenuo” - o provisional en su generalidad- como un supuesto científico (lo que puede constatarse desde 1900 y hasta finales del siglo XX) no es gratuito. La física en su actividad, que es el estudio de la estructura del universo, debe partir de la idea de que existe una realidad externa a examinar (sin preguntarse qué es esa realidad), una realidad con “objetos de conocimiento” cuya naturaleza se debe esclarecer.

Naturalmente, tanto la física como la filosofía pretenden comprender y dotar de sentido a la realidad y a sus objetos pero, desde sus propios parámetros y marcos de referencia, encaran la cuestión en torno a los objetos de conocimiento de forma distinta. La física, hacia finales del siglo XX, comenzó a abandonar paulatinamente las pretensiones de la visión heredada de la Modernidad, según la cual el quehacer de la propia física consistía en desentrañar o develar la realidad “tal cual es esencialmente”. Esta visión consideraba que el conocimiento de los objetos del mundo físico era efectivo conocimiento de la realidad, es decir, que la propia física era, más que otras áreas del saber y actividad humanas, la única capacitada para conferir estatus ontológico a los objetos de la naturaleza. Los avances científicos, que a inicio del siglo detonaron la revolución cuántica y relativista como una verdadera revolución epistemológica, contribuyeron al mencionado abandono de esta visión. Es así que la física adquirió, a la postre, una madurez que le permitiría asumir, tanto ontológica como epistemológicamente, que los objetos de la ciencia no se desentrañan en su naturaleza última, sino que son entes de inferencia; la realidad no se devela: la naturaleza se interpreta. Las nuevas teorías se alejaron de sus ideales modernos para aceptar que la propia ciencia no está en posición de conferir estatus ontológico a lo existente.

Por su parte la filosofía, de igual modo que la física, con las transformaciones científicas gestadas a finales del siglo XIX y principios del XX, también habría de llegar, no sin serias dificultades, a un replanteamiento en torno a su capacidad de hacer frente a lo real. La filosofía venía sufriendo los efectos de un alejamiento de la metafísica que se puso en marcha ya desde Kant. Entra en crisis, así, la filosofía que, llegando hasta sus últimas consecuencias, pretendía abarcar el conoci-

miento efectivo de la totalidad de lo existente; se trataba de una filosofía metafísico-ontológica que, en lo epistemológico, buscaba engendrar los fundamentos absolutos del saber humano, presentando explicaciones finales de la realidad con un carácter universal, absoluto e incuestionable. Estas pretensiones, a la luz de los nuevos descubrimientos científicos, vendrían en infantiles y anacrónicas y obligarían a la filosofía a adoptar una actitud mucho más crítica y autocrítica. En efecto, si el saber científico comenzaba a asumir que su quehacer se limitaba a dar explicaciones parciales con carácter de suficiente, sin buscar principios universales y necesarios [4], comenzaba a resultar evidente la necesidad de abandonar el universalismo y las pretensiones de “absoluto”. La revolución de la física, más allá de transformar la propia ciencia, mostró que los objetos de conocimiento son “mudables” y, explícita o implícitamente, exigió la adquisición de una nueva responsabilidad epistemológica y ontológica para con la interpretación de lo real.

En consecuencia, dado que la filosofía es, ante todo, una actividad reflexiva que dota de sentido al horizonte de posibilidades de toda actividad humana, es necesario que se involucre de manera profunda en aquello que constituye la última palabra en lo referente a interpretaciones de la realidad: la física. En las últimas décadas los desarrollos de la física (en este caso particular, la teoría cuántica), como nunca antes, se han mostrado más que filosóficamente propicios para contemplar, como tema de reflexión y discusión, la problematización sobre el sentido de la realidad y sus objetos. Si se asume, de entrada, que una condición indispensable de toda disciplina científica es la postulación de un objeto de estudio a través del cual pueda interpretarse, conocerse, estudiarse o representarse la esquiua realidad, sin duda es evidente que la filosofía deberá hacerse cargo de dichos objetos y de las implicaciones de su postulación.

### 3. Mecánica cuántica y sus interpretaciones

Al tratar de hacer una reflexión en torno al objeto cuántico, es de suma importancia advertir que la mecánica cuántica, desde sus orígenes y hasta la actualidad, y en buena parte debido a la naturaleza de los fenómenos que estudia y la falta de consenso respecto a su formalismo, ha dado lugar a un número significativo de interpretaciones, unas veces colindantes y algunas otras contrapuestas. Este abanico de interpretaciones supone, además, la puesta en escena de múltiples problemas ontológicos. Naturalmente, dichos elementos problemáticos no pueden ser pasados por alto en una reflexión como la que se presenta aquí. No obstante, no corresponde al presente trabajo el realizar un análisis exhaustivo respecto a las interpretaciones alternativas de la mecánica cuántica y sus respectivos problemas ontológicos emergentes, puesto que nos limitaremos a examinar las consecuencias ontológicas del formalismo estándar de la teoría cuántica, sin considerar las cuestiones correspondientes a los formalismos de otras propuestas.

Por otro lado, la emergencia de nuevos problemas ontológicos como los ventilados por la teoría cuántica puede sugerir peligrosamente la idea de que, así como hay diversas interpretaciones, hay diversas ontologías. Una afirmación semejante es no solo arriesgada, sino francamente irresponsable, ya que con facilidad puede conducir a un relativismo estéril (a partir del cual se pretenda discutir la ontología individual e infinita de cualquier “artificio”). Lo que resulta filosóficamente importante en este contexto es que la ontología contemporánea debe, sin pretensiones reduccionistas, transformarse con miras a la unificación, comprendiendo, asumiendo y contemplando la introducción de nuevos elementos problemáticos. Lamentablemente, la propia emergencia de nuevos problemas ontológicos en la ciencia contemporánea parece contribuir de forma contraria a este propósito.

Por los motivos arriba señalados es que las siguientes líneas presentarán únicamente una visión panorámica, tanto de las diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica, como de algunos de los problemas ontológicos de la misma ya que, eventualmente, podrían aparecer a lo largo de esta pesquisa.

Antes de mencionar algunas de las interpretaciones más destacadas de la mecánica cuántica, y siguiendo en toda esta sección a Claudia Vanney [5], es importante señalar que todas ellas, o al menos la mayoría, son propiamente intentos de “pulir” el ambiguo formalismo de la teoría, introduciendo con este propósito nuevos elementos teóricos o perfeccionando los ya existentes. Con este objetivo, múltiples propuestas han confrontado y han tratado de dar respuesta a diversos elementos problemáticos que bien pueden ser considerados como característicos de la propia teoría cuántica, entre los que destacan el estatus ontológico de la función de onda, la posibilidad de considerar a la teoría como “local” o “no-local” (examinando el fenómeno del entrelazamiento cuántico), la discusión sobre el carácter completo o incompleto de la teoría (de acuerdo al examen del comportamiento determinista o indeterminista del universo subatómico), los límites del indeterminismo cuántico, el sentido físico del “colapso” de la función de onda en el proceso de medición y la decoherencia cuántica (la integración del formalismo cuántico al clásico para explicar la estabilidad del mundo físico). Estos elementos de índole problemática son los que han primado de manera significativa en las controversias respecto a la comprensión de la mecánica cuántica y se encuentran en la raíz del conflicto entre interpretaciones que dicha teoría implica, lo que sin duda la ha enriquecido enormemente desde su desarrollo.

Por otra parte resulta necesario insistir en que, de manera significativa y acaso fundamental, los problemas ventilados, examinados y discutidos en las diversas interpretaciones de la teoría son problemas de índole extra-científica y son problemas propiamente filosóficos. Esto resulta evidente ya que un supuesto fundamental en toda teoría física es que ésta, al tratar de dotar de sentido al mundo real, debe poseer un componente de integridad, que se refiere a la posibilidad de pasar de un formalismo matemático a un formalismo físico y, pa-

ra que esto se lleve a cabo, se hace indispensable una interpretación ontológica. Este “esfuerzo por conseguir un sentido ontológico” es lo que favorece y detona la emergencia de múltiples interpretaciones.

Actualmente existe quizá más de una docena de alternativas hermenéuticas de la mecánica cuántica (no resultará extraño que muchas otras puedan sumarse en un futuro a la lista) y, aunque a nivel pragmático todas ellas coinciden en la operatividad de la misma, su significado ontológico sigue siendo motivo de pugnas y controversias que dificultan y acaso imposibilitan no sólo el consenso, sino la tajante elección de una u otra propuesta, claro está, sin que ello impida reconocer como enriquecedoras a una o más de estas propuestas.

De manera simplificada se presenta a continuación una breve descripción de notables interpretaciones de la teoría cuántica (que en algunos casos pueden considerarse, propiamente, como “familias de interpretaciones”). En primer lugar destaca la interpretación de Copenhague, la propuesta más conocida por ser la primera en examinar los fenómenos descritos por la emergente mecánica cuántica. Dicha interpretación enfatiza el indeterminismo, opta por la complementariedad y niega la posibilidad de introducir variables ocultas. Además, rechaza la realidad ontológica de la función de onda (aquí sólo es un estado cuántico que define la distribución de probabilidad de valores posibles). De acuerdo con la interpretación de Copenhague, el componente fundamental en la teoría cuántica, más que la función de onda en sí misma, es su llamado “colapso” (la “actualización” de un único valor extraído de un sistema indeterminista ocasionada por la interacción sujeto-sistema). Una interpretación heredera de ésta propuesta, aunque con algunos cambios respecto a la importancia de la función de onda, es la llamada “interpretación de colapso subjetivo” (von Neumann, Wheeler, Wigner). De corte idealista y subjetivista, esta interpretación hace énfasis en el lugar preponderante que ocupa el sujeto en los procesos de medición. A escala cuántica, la observación y la asociación de una entidad a una medida es un proceso complejo en el que es inviable separar al sujeto observador del sistema observado y del dispositivo de observación. En este sentido, el observador no puede simplemente separarse de lo observado con la objetividad que impone la física clásica: aquí, el sujeto observador, directamente involucrado en el análisis de fenómenos cuánticos, es quien determina la realidad de lo observado.

Una contra-repuesta a lo antes señalado se desarrollaría en las llamadas “interpretaciones de colapso objetivo” (Ghirardi, Rimini, Weber). Este tipo de interpretaciones niega, categóricamente, cualquier relevancia del sujeto observador, dado que supone que el colapso de la función de onda puede ocurrir eventual y espontáneamente sin intervención. En el caso de los procesos de medición, el colapso de la función de onda es un considerado como un “quiebre” o reducción de un sistema. Un intento por mejorar esta interpretación corre a manos de Roger Penrose, quien ha introducido efectos gravitacionales en la estructura de la mecánica cuántica que permiten entender el fenómeno de la superposición cuántica como

un evento sin continuidad indefinida, cuyo colapso sería el cambio sufrido en la energía de un estado.

Otra destacada interpretación es la estadística (Ballentine), según la cual, la función de onda es una “función estadística abstracta” que no describe de un modo completo las características de un sistema, sino únicamente determinadas propiedades estadísticas de un conjunto de sistemas de similar comportamiento. En este sentido la indeterminación no juega un papel ontológico determinante y está relacionada con principios de dispersión estadística. Destaca aquí el hecho de que este tipo de interpretaciones consideran a la mecánica cuántica, por una parte, como una teoría de enfoque clásico que introduce elementos estocásticos que no alteran su formalismo y, por otra, como una teoría incompleta en la que la distribución de valores estadísticos abre la posibilidad de introducir “variables ocultas”. Algunas de estas sugerentes ideas alentaron el desarrollo justamente de interpretaciones de variables ocultas (Brogie, Bohm), de acuerdo con las cuales es posible incluir variables desconocidas en el formalismo de la mecánica cuántica que permitan conservar su carácter estocástico, a nivel macroscópico, y complementen la información de la función de onda, restaurando el determinismo a nivel microfísico.

Por otro lado, entre el abanico de posibilidades heurísticas de la mecánica cuántica tienen lugar propuestas ambiciosas que buscan aplicar la teoría al universo completo, llamadas “interpretaciones de los múltiples mundos” (Everett, DeWitt, Graham). De acuerdo con estas interpretaciones, se considera que no hay un único sistema físico generalizado, con su respectiva función de onda, sino una función de onda universal y múltiples plexos de sistemas no absolutos y correlacionados entre sí. Adicionalmente, versiones más recientes de esta interpretación prescinden del colapso de la función de onda en favor de la “decoherencia cuántica” (Zurek, Wallace), proceso en el que el colapso es una consecuencia espontánea que conduce a la eventual supresión del fenómeno de superposición cuántica.

Ciertamente existen, además de las ya señaladas, otras propuestas interpretativas alternativas que en su conjunto coinciden, filosóficamente, en el propósito fundamental de dotar de sentido ontológico a la realidad descrita por la desafiante mecánica cuántica afrontando, en la medida de lo posible, el despliegue de problemas ontológicos que genera y que son de naturaleza abierta. Desde luego, la somera descripción anterior no hace justicia a la profundidad de los aspectos formales que intervienen en cada interpretación ni atiende con detalle los distintos matices, contrastes y conceptos contenidos en éstas. No obstante, tener a la vista algunas de las propuestas interpretativas de la mecánica cuántica resulta ilustrativo en la medida en que, al reflexionar en torno al objeto cuántico, pueden identificarse algunas directrices problemáticas esencialmente ontológicas.

Al igual que en el caso de las distintas interpretaciones de la teoría cuántica, resultaría poco viable y pretencioso abordar aquí lo que representaría el “corpus” de problemas ontológicos a los que da lugar la mecánica cuántica. Empero,

es necesario identificar aquéllos que inciden directamente en la caracterización y configuración del objeto cuántico. Tenerlos a la vista contribuirá significativamente a la comprensión, al menos provisional y no definitiva, de las “esquivas” entidades cuánticas, principal motivo de la presente reflexión (véase Fortin y C. López [6]).

#### 4. Problemas ontológicos

Se sabe que uno de los principales desafíos epistemológicos y ontológicos de la mecánica cuántica lo constituye la enorme distancia que guarda ésta respecto a la física que le antecedió. La descripción del mundo físico de la teoría, así como la naturaleza de los fenómenos que estudia están lejos de obedecer a los condicionamientos lógicos y ontológicos de la física clásica y, en contraste, parece dejar invalidados dichos condicionamientos: se prescinde del principio de identidad, de las relaciones de causalidad, se introducen elementos estocásticos en el comportamiento de los procesos naturales y se tornan ubicuas las relaciones de indeterminación. Frente a este panorama, ¿qué condiciones ontológicas específicas adquieren los objetos estudiados por la mecánica cuántica? Para tratar de responder a este cuestionamiento es necesario identificar qué problemas ontológicos plantea la teoría.

Lo que hace problemático a un objeto cuántico (y motivo de cuestionamiento) es que dicha entidad no puede ser descrita en el marco de la física clásica, es decir, el objeto cuántico no se comporta de manera ordinaria ni puede ser comprendido mediante intuiciones habituales. Este objeto sólo puede ser atendido de acuerdo con la descripción del mundo proporcionada por la mecánica cuántica, y se torna poco convencional debido a la introducción de dos factores ontológicamente problemáticos inherentes al formalismo y descripción de la realidad física de esta teoría: la superposición y las relaciones de incertidumbre. Ambos elementos representan los dos pilares fundamentales sobre los que se sostienen la mayoría de las discusiones en torno a la naturaleza ontológica de los objetos cuánticos.

En primer lugar, es necesario entender qué implica la superposición como rasgo característico de la mecánica cuántica. De acuerdo con la física clásica y el sentido común, un objeto posee determinadas propiedades que constitutivamente lo hacen ser lo que es (no puede poseer y no-poseer una propiedad al mismo tiempo). Puesto que resulta un tanto pedestre hablar llanamente de “objeto con propiedades”, la física considera más apropiado hablar de “estado”. En este sentido, el objeto con propiedades que le son suyas no es otra cosa que un “sistema en un estado con valores definidos”. No obstante, en un sistema cuántico no hay estados definidos, sino combinaciones de estados que forman un “estado posible”. En el caso cuántico esto se conoce como “superposición” (por ejemplo, en el conocido “Gedankenexperiment” del gato de Schrödinger, el gato se encontraba en un estado de superposición vivo/muerto).

La condición de superposición en un sistema cuántico, como puede intuirse, resulta ontológicamente problemática.

ca, pues resulta que las entidades cuánticas tienen y no tienen propiedades simultáneamente. Este problema conduce a cuestionar si en realidad existe la superposición en la naturaleza como condición objetiva, si bien difícilmente observable, (lo que epistemológicamente equivaldría a llegar a un punto límite de nuestro conocimiento) o si es la superposición una condición teórica provisional y necesaria debido al poco perfeccionamiento de la teoría o a una incapacidad técnico-tecnológica. Un intento de dar solución a esta cuestión es proporcionada por algunas interpretaciones estadísticas y de variables ocultas, las cuales verán en la condición de superposición un problema epistemológico y no ontológico. De acuerdo con estas interpretaciones, en la mecánica cuántica no se examina un sistema único, sino una “colección” de sistemas. La superposición es, aquí, únicamente un estado en el que se encuentran una colección o ensemble de sistemas, cuyos estados individuales no pueden ser conocidos por limitaciones epistémicas, al modo de la mecánica estadística clásica.

Sin embargo la propiedad conocida como contextualidad cuántica, establecida teóricamente en el teorema Kochen-Specker, constituye un fuerte obstáculo para estas interpretaciones. Las interpretaciones de corte estadístico y de variables ocultas, en rasgos muy generales, consideran que todos los observables (propiedades) de un determinado sistema tienen valores definidos pre-existentes en un mismo instante. Por su lado la contextualidad cuántica señala que en un sistema cuántico existen observables que adquieren un valor definido, pero únicamente en un contexto específico. En este sentido, todos los observables de un sistema cuántico no pueden poseer sus valores definidos simultáneamente. De este modo la superposición deja de ser una limitación meramente epistémica y adquiere una connotación ontológica en cada sistema individual.

Según algunas interpretaciones, la superposición no es la condición actual del sistema, sino que representa la posibilidad objetiva que un cierto observable posee de actualizar sus valores. Esto corre así en virtud de que la función de onda, que proporciona toda la información de un sistema cuántico, informa posibilidades en el sentido de “tendencias a la actualización”. Las interpretaciones modales de la teoría cuántica (van Fraassen, Dieks, Lombardi y Castagnino) adoptan esta posición al asumir que los estados de un sistema adjudican probabilidades a “propiedades posibles”. Esto implicaría, en términos ontológicos, que a nivel cuántico lo real no es ya lo “actual”, sino lo posible, dejando al objeto cuántico como un “ente de posibilidad”.

Esta idea aparentemente exótica encontrará detractores en la interpretación de los “múltiples mundos” de la mecánica cuántica. Aquí la función de onda tiene un rango de aplicación universal en la medida en que el universo está constituido por múltiples mundos en cada uno de los cuales se actualiza uno de los términos de la superposición. De manera similar a lo afirmado por interpretaciones estadísticas o de variables ocultas, para dicha interpretación la superposición es un estado que se aplica únicamente al universo como

un todo, constituido por múltiples mundos. En cada mundo individual y específico los observables poseen valores definidos y desaparece la superposición. En términos ontológicos y epistemológicos, de acuerdo a esta peculiar perspectiva, únicamente es posible conocer lo que se ha “actualizado” en un mundo particular y que puede encontrarse en “potencia” en otro u otros.

Por otra parte, además de la condición de superposición cuántica, el segundo asunto problemático es representado por las relaciones de incertidumbre. Como un rasgo característico de la mecánica cuántica el principio de incertidumbre expresa que en un sistema dado existen pares de propiedades a las cuales no es posible asignar un valor definido de forma simultánea. En el marco de la física clásica es posible brindar una descripción completa de un sistema. Esto no resulta ontológicamente problemático ya que es esta “descripción completa” la que permite determinar ontológicamente un sistema. Sin embargo, en la teoría cuántica las entidades únicamente tienen propiedades “posibles” no determinadas de modo clásico, pues es imposible la simultaneidad de su determinación. De acuerdo con el principio de incertidumbre, en un sistema, se dan observables incompatibles entre sí (por ejemplo, la posición y el momento lineal) y, en la formalización de la teoría, definir el valor de una propiedad impide definir el valor de la propiedad incompatible con precisión.

Aquí, al igual que en el caso de la superposición de estados, el carácter problemático de las relaciones de incertidumbre conduce a la doble pregunta ontológico-epistemológica: ¿se encuentra la mecánica cuántica limitada o impedida para describir objetos u entidades (brindar valores definidos de observación) o realmente describe la verdadera naturaleza del mundo cuántico? Nuevamente, las interpretaciones estadísticas y de variables ocultas sugieren que las relaciones de incertidumbre constituyen un problema epistemológico y no ontológico. Dichas familias de interpretaciones insistirán en que, si no es posible adjudicar valores definidos a observables incompatibles, esto es así debido a la ignorancia en el conocimiento completo del sistema.

Una vez más, desde la perspectiva de la contextualidad cuántica el asunto se torna particularmente serio. Desde la formulación del teorema de Kochen-Specker, el principio de incertidumbre sí es un componente objetivo de la realidad física subatómica. La introducción de un componente estocástico en la teoría cuántica no es una mera limitación de la teoría, ni tiene que ver con el desconocimiento o la ignorancia acerca del estado de un sistema, ya que la indeterminación es, en sí, objetiva. Desde este punto de vista la teoría cuántica aparentemente está limitada al ofrecer una descripción del mundo físico, pero únicamente en virtud de que, en efecto, el mundo cuántico posee características ontológicas nunca antes analizadas.

Ahora bien, frente a este rasgo característico de la mecánica cuántica que es el principio de incertidumbre, surge nuevamente la pregunta por el objeto: ¿cómo son las entidades que se rigen por dicho principio y cuya determinación de

propiedades es tan poco intuitiva a escala físico-clásica? Desde el horizonte de posibilidades interpretativas que ofrece la teoría, estas cuestiones no encuentran una resolución tajante y definitiva: las familias de interpretaciones de variables ocultas o estadísticas consideran a las entidades cuánticas como “objetos provisionales”, mientras que desde el punto de vista de algunas interpretaciones modales parece haber grados de “realidad disminuida”: las entidades cuánticas tienen una condición ontológica clara en tanto “entes de posibilidad”, asumiendo que lo posible no es lo “no-real en acto”, sino lo “real-posible”, lo real en “potencia”.

En consecuencia, en la mecánica cuántica las entidades y objetos están lejos de ser los descritos por la física clásica como cuerpos individuales situados en el tiempo y el espacio; antes bien, son considerados como “sistemas” en los que adquieren un papel preponderante las condiciones de no-separabilidad e indistinguibilidad. En teoría cuántica no hay objetos individuales, sino sistemas compuestos no locales, y no es posible identificar todas sus partes; el objeto cuántico carece de la identidad del objeto clásico y, al ser un sistema entrelazado indefinidamente, también carece de separabilidad clásica. En este punto cabría considerar qué tipo de ontología es la que está en juego en la mecánica cuántica ya que la propia teoría impide utilizar criterios y condiciones de identidad para singularizar sistemas cuánticos: la naturaleza probabilista de la teoría, al referir a sistemas entrelazados, anula la posibilidad de considerar a sus objetos como individuos con claros criterios de identificación, es decir, como “objetos puntuales”. Algo que puede ser adelantado desde ahora, y que será tocado en las siguientes líneas, es que una resolución quizá provisional al respecto sería optar por una ontología holista, una ontología de propiedades y no de individuos.

## 5. El objeto cuántico

En las líneas anteriores se ha presentado una revisión, tanto de algunas interpretaciones de la teoría cuántica, como de sus principales problemas ontológicos, con el propósito de identificar los elementos problemáticos que se discuten al reflexionar en torno a las entidades cuánticas. Profundizando en esta cuestión es necesario retomar algunos elementos destacados en este análisis para concretar algunas ideas al respecto.

Ninguna concepción del mundo físico -un mundo poblado de entidades-, puede prescindir de una teoría física fundamental que brinde una descripción de la realidad; dicha descripción, a nivel epistemológico, resulta fundamental, pues constituye el único mecanismo que permite afirmar que se tiene “conocimiento” de lo real. Como ya se advirtió, toda teoría física, al contar con sus “objetos de estudio”, deberá asumir un compromiso ontológico, delimitando y definiendo el estatus ontológico de las entidades con las cuales trabaja, puesto que los fenómenos de la realidad, sus relaciones y sus propiedades, engendran categorías científicas que pretenden reflejar propiedades de un mundo objetivo. En este

sentido, sólo será posible acceder al conocimiento de la naturaleza y si se consideran las entidades que la constituyen.

La física, en líneas generales, trabaja con “objetos materiales”, objetos de estudio que constituyen lo que se llama “realidad objetiva”. Esto no es gratuito, pues “la filosofía ha forjado la categoría de materia para designar la realidad objetiva y estas dos propiedades suyas (las más esenciales de la realidad objetiva): independencia respecto a la conciencia humana y de toda la humanidad y capacidad de reflejarse en las sensaciones e ideas del hombre” [7]. Cabe señalar aquí que el concepto de “materia” referido en estas líneas (y que eventualmente podría reaparecer en el presente) es utilizado en un sentido filosófico y no físico. Materia, en este sentido, hace referencia a la disyunción existente entre los horizontes material y espiritual o, en otros términos, material-objetivo, inmaterial-subjetivo, diferenciándose de la acepción de “materia” en un sentido físico como contrapuesta a energía. Este lineamiento, aunque de orden filosófico, bien puede representar la metodología básica de toda la ciencia física. Sin embargo, “En la física actual, el problema de la realidad objetiva se plantea en relación con la existencia objetiva de micro-partículas (partículas elementales) que revelan simultáneamente propiedades corpusculares y ondulatorias, lo cual no encaja en los conceptos habituales. Este problema se ha complicado aún más en virtud de que el objeto de estudio de la física actual son átomos y partículas elementales no observables de modo directo e inmediato” [6]. Por este motivo, resulta claro que la reflexión en torno a los objetos físicos reales-materiales de la realidad objetiva es fundamental.

La física cuántica tiene la peculiaridad de gestarse en un momento de incompatibilidad de teorías: la teoría ondulatoria y la teoría corpuscular. El principio de complementariedad de Niels Bohr de 1927 afirma que lo corpuscular y lo ondulatorio son aspectos complementarios de una única realidad. El primero es esencial para estudiar los fenómenos de intercambio de energía y el segundo para describir el comportamiento de partículas elementales. La teoría cuántica, así, superó la antigua distinción entre “sustancia material” -constituida por entidades discretas separadas unas de otras e individualizables en el espacio- y radiación -fenómenos ondulatorios y continuos-. Esto significaría que, en adelante, los últimos reductos de la realidad, los objetos a escala cuántica, tendrán un comportamiento “dual”.

Por otro lado, el horizonte cuántico clausura la causalidad tradicional (causa-efecto) y el determinismo clásico, es decir, se abandona la idea de un comportamiento de la naturaleza de orden predecible: ya no hay cabida a la necesidad absoluta. El uso de probabilidades, extendido exponencialmente a partir de las investigaciones en teoría cinética de gases que originarían la mecánica estadística, no resultaba algo nuevo puesto que, antes del desarrollo de la mecánica cuántica, ya se hacía uso de procedimientos estadísticos. No obstante, la diferencia consiste en que, en física clásica, las probabilidades son utilizadas para deducir el comportamiento de un sistema formado por un gran número de elementos a partir del comportamiento de uno solo, es decir, conociendo determi-

nadas propiedades (por ejemplo de una partícula de un gas) se pueden determinar con precisión las propiedades del sistema formado por una multiplicidad de ellas. Por su parte, en la teoría cuántica el uso de las probabilidades advierte, de entrada, que no es posible conocer el valor exacto de una magnitud física en un determinado momento, sólo es posible contar con una distribución estadística. Cabe destacar aquí que las relaciones de incertidumbre de Heisenberg no representan la cancelación radical de la física clásica: son el punto límite de su aplicación y esto forma parte de los aspectos epistemológicos más relevantes de la física cuántica.

Transformaciones como las introducidas por la mecánica cuántica, que vinieron a modificar la comprensión del hombre con respecto a la estructura del universo a toda escala, tanto a nivel práctico como experimental, pusieron de manifiesto que, en el terreno de la física subatómica, comenzó a resultar inoperante una descripción del mundo físico que involucrase el tradicional concepto de “objeto físico” como corpúsculo, unidad puntual, perfectamente ponderable, situado en un tiempo y un espacio y obediente a los principios de contigüidad, causalidad e identidad. Los nuevos fenómenos (y las consecuencias que arrojaba la investigación en torno a ellos) resultaban, además de cuantitativa y cualitativamente distintos respecto a los “objetos clásicos”, paradójicos y contradictorios: las partículas no tienen localidad-identidad, son onda y corpúsculo a un tiempo, parecen encontrarse en múltiples sitios a la vez, tienen estados superpuestos, etc.

La confrontación con este nuevo tipo de entidades no representó un encuentro fortuito o casual, o la aparición repentina de un nuevo tipo de objeto en física, sino que se fue gestando paulatinamente a la par del propio desarrollo de la teoría cuántica. El descubrimiento de Max Planck del cuanto de acción marcó el inicio de una ruptura entre la concepción ordinaria de objeto (la proporcionada por la física clásica) y la nueva descripción del mundo físico que comenzó a gestarse; algo tan fundamental como la estabilidad del núcleo atómico, paradójicamente, no podría aceptarse sin la introducción de la discontinuidad, de lo azaroso, es decir, sin la controversial violación de los principios lógico/ontológicos de identidad y causalidad. En principio, este panorama se presentó desalentador, pues resultaba que los “objetos de la física” ya no eran tan “puros” e inamovibles como los describía la poderosa ciencia clásica de la Modernidad. Las discusiones de la comunidad científica involucrada en dar forma a la mecánica cuántica en torno a lo que ocurría en el interior del átomo, se presentaban angustiosas debido a que, para ponderar lo que un objeto “es”, se abrían dos marcos de referencia distanciados: el marco clásico y el cuántico.

La física newtoniana contemplaba sustancias y cualidades, y sus objetos eran cuerpos materiales, corpúsculos asociados a magnitudes físicas como tiempo, lugar, masa, cantidad de movimiento, etc., que eran consideradas como propiedades inherentes e ineludibles. Pero, con la formalización matemática del campo electromagnético en el siglo XIX, nació una ciencia que, en lugar de ocuparse de “los cuerpos”, centraría su atención en el concepto de “campos”. Los cam-

pos, que no representan fuerzas sino “virtualidades de fuerzas” [8], dejarían de representar propiedades y pasarían a dar cuenta de acciones (eléctricas y magnéticas).

La física cuántica, entonces como nueva física, comenzó a plantearse la posibilidad de asumir un objeto de estudio diametralmente distanciado del “objeto material clásico”. De hecho, el horizonte de fenómenos que se abrió con la física cuántica supuso un estadio límite para la noción clásica de “objeto”; la mecánica cuántica no dio lugar a la formulación de un nuevo concepto de objeto, sino que hacía evidente la imposibilidad de representación-conceptualización de un “objeto” como tal (desde luego, a escala convencional clásica). Para la física cuántica, las nuevas entidades, en principio, deben suponerse existentes para posteriormente deducir sus propiedades. En otros términos, lo que se tiene es una conjetura acerca de propiedades, no un “objeto” como tal. Por ejemplo, los electrones y otras partículas elementales que actualmente conforman el tema de estudio del llamado modelo estándar son, en efecto, “partículas” cuya existencia ha sido comprobada pero que ya no pueden ser “descritas” propiamente como partículas (diminutos pedazos de materia). Estas entidades se describen únicamente mediante campos, mediante funciones de probabilidad, es decir, adquieren un carácter de “sistema” y no de “cuerpo”. Este nuevo tipo de descripción se ha hecho necesaria para satisfacer los principales postulados de la teoría cuántica tales como la superposición de estados y el principio de incertidumbre.

Aquí cabe señalar con Toulmin que “La nueva concepción cuántica no sólo cambia las conceptualizaciones de la física sino sus ideas disciplinarias”[9]. O bien, cabría asumir, siguiendo a Kuhn, que la teoría cuántica ha sido paulatinamente aceptada mediante un juicio valorativo en el que no sobresalen los valores de la simplicidad y la coherencia, pero sí unos quizá más importantes como el de la fecundidad de sus aplicaciones, es decir, el éxito en lo referente a la contrastación experimental de la propia teoría [10]. En este sentido, es interesante advertir que la transformación del “objeto físico-material” en “objeto cuántico” no fue una consecuencia de la evolución sistemática y lineal de la física, y aún más, ni siquiera tiene que ver con la física cuántica en tanto que “revolución científica”, sino que es clara evidencia de una “especiación”, es decir de la aparición de un nuevo tipo de física cuyos objetos, en su postulación y en la descripción que de la realidad física se haga a partir de ellos, afectan, necesariamente y por su naturaleza, la estructura y comprensión de la realidad.

Ahora, volviendo a la pregunta sobre el qué es y cómo ha de ser entendido o caracterizado el objeto cuántico, es importante tener a la vista lo señalado en líneas anteriores: toda teoría física, desde que nace informalmente como proto-teoría (a partir de algunas sencillas postulaciones, por lo general de orden empírico), plantea necesariamente la existencia de objetos físicos de algún tipo y hace del análisis y estudio de dichos objetos su propósito fundamental. De los objetos planteados por la ciencia se buscará extraer, en princi-

pio, sus elementos constitutivos, sus propiedades y, en última instancia, sus cualidades y las relaciones que dichos objetos guarden frente a otros. Este resumido “programa de trabajo” se encuentra en el seno de la física y se sigue rigurosamente en cada una de sus teorías. Una teoría se configura como un ensayo, una perspectiva particular planteada para estudiar un objeto que forma parte de la realidad física. Como tal, cualquier teoría supone y posee, por ende, una ontología intrínseca ya que son las teorías las que, en última instancia, circunscriben el estatus epistemológico y ontológico de un objeto, pues invariablemente indican “lo que puede ser observado-conocido” y lo que los objetos “son”, definiendo cualidades, midiendo magnitudes y estudiando la forma como se relacionan unos con otros.

En este punto la teoría cuántica entraña una ruptura significativa. La física clásica cumplía con la metodología antes descrita señalando, respecto de sus objetos de estudio, el “qué” se conoce y el “cómo”, de modo que el ideal de la ciencia aristotélico-cartesiana se cumplía. Empero, esta imagen científica operaba bajo principios lógicos y ontológicos significativamente deterministas. De aquí se desprendió la clásica visión del mundo como “aparato de relojería” en el que el componente último de la realidad (en el caso de la física, el átomo) tenía una imagen homogénea, cíclica y perfectamente intuitiva. Este escenario se sostenía en una particular ontología (y en una derivada episteme determinista causalista) que autorizaba a creer que las teorías podían definir a un objeto como lo que “es”. Pero con la teoría cuántica se develó que los presupuestos ontológicos de la ciencia moderna (el principio de identidad y el principio de causalidad) no eran definitivos e inamovibles.

Quienes formularon la mecánica cuántica eran conscientes de que, si bien la teoría no dejaba de ser propiamente una teoría sobre ciertas “entidades objetivas”, sí pasaba a modificar para siempre el “programa de trabajo” de las teorías físicas. A pesar de permitir el discernimiento del estatus epistemológico de las entidades que postula, es decir, el cómo se conoce una entidad A, la teoría cuántica no confiere estatus ontológico a sus objetos en la forma de “A es”. La afirmación de lo que un “objeto es”, como objeto, por la escala y naturaleza de los fenómenos subatómicos, no es posible, sino sólo apreciable en su magnitud a través del principio de incertidumbre. Las nuevas entidades de las que se encarga la teoría cuántica (en un inicio fotones, electrones, protones y neutrones) manifiestan una ausencia de constatación empírica como “cuerpos”. La sola suposición de que estos objetos son “trozos elementales” de materia, con tal o cual configuración espacio-temporal, contradice, paradójicamente, los datos de la experimentación. Al mismo tiempo, los datos empíricos interpretados a través de una matemática impecable señalan que las entidades cuánticas no tienen “localidad”, que carecen de identidad, que tienen diferentes comportamientos simultáneos, que son propensas a la superposición de estados y que sólo pueden ser “inferidas” y no observadas de forma directa. En otras palabras, la teoría cuántica demuestra que el

mundo subatómico está poblado de entidades “no puntuales” que, aunque físicamente existentes, sólo son hipotéticamente expresables.

La caracterización de un objeto semejante, como se ha señalado, resulta epistemológica y ontológicamente problemática. Según ciertos autores (véase Lombardi y Castagnino [11]), si las entidades cuánticas han dejado de ser “cosas” u objetos particulares, en el sentido de “sustrato-soporte de la realidad”, pueden interpretarse como conjuntos o “paquetes” de propiedades. Lo problemático de esta posición es que las propiedades de un objeto tienen una primacía ontológica frente a dicho objeto que sería, así, prácticamente un objeto metafísico. De hecho, cabe señalar, “la asunción de una ontología de sustancias y propiedades está implícita en el discurso cotidiano de los físicos cuánticos” [12]. El lenguaje de los científicos está anclado en el lenguaje ordinario de “sujetos” y “predicados”: expresan, por ejemplo, que los electrones tienen tal o cual impulso, o que un fotón tiene una u otra polarización, considerando a estas entidades como un mero “sustrato”.

En la mecánica cuántica, el acceso empírico a los objetos del micro universo es significativamente distinto a como lo era en la física clásica. De un objeto cuántico sólo puede extraerse información sobre sus propiedades o sus “posibilidades de acaecer”, pero no puede determinarse en su “esencialidad-sustancialidad clásica”. En este caso la determinación como “objeto”, su individualidad, localidad y espacialidad serán atributos pragmático-provisionales.

Por otro lado, la ausencia de una base ontológica sustancial como la que sugería la física clásica, obliga a considerar al objeto cuántico como “indiscernible”. El propio Einstein introdujo el concepto de lo indiscernible para referirse a los objetos cuánticos hacia 1924, señalando que estos no tienen individualidad. Este asunto también es revelador. De acuerdo con Giuliano Toraldo [14] los fenómenos cuánticos examinados y discutidos por Einstein, Bohr, de Broglie y la primera oleada de físicos cuánticos parecían exhibir que la existencia de objetos perfectamente distinguibles en su individualidad ya no era posible. Esta indistinguibilidad, cabe señalar, no se refiere a la dificultad que entraña el determinar individualmente a una entidad que interactúa con otras, en el complejo entramado de interconexiones que componen la totalidad de fenómenos del universo, sino a al modo en que se comportan, estadísticamente, los objetos o entidades de la teoría cuántica.

Siendo así, la mecánica cuántica implica la violación de lo que Leibniz denominó principio de identidad de los indiscernibles (si dos objetos X y Y comparten todas sus propiedades, entonces son idénticos, es decir, son el mismo objeto). De acuerdo con Steven French y Decio Krause, este principio insiste en que no puede haber 2 o más individuos con todas sus propiedades relevantes en común [13]. Además, el principio de Leibniz hace referencia a una característica de impenetrabilidad, pues dos cuerpos no pueden ocupar la misma posición al mismo tiempo debido a su materia. Desde luego, los objetos que cumplen con este principio se encuentran en el orden de partículas descritas a la manera “clásica”.

Heisenberg, Bohr y Schrödinger, cada uno con sus formulaciones, pondrían en evidencia esta “propiedad” que tienen los objetos cuánticos de ser “individuos nulos” o “no individuos”, carentes de identidad. Schrödinger creía, al igual que Bohr, que la dificultad que entraña el carácter de no-identidad de los objetos cuánticos se debe, no a una limitación de nuestro conocimiento de dichos objetos, sino a deficiencias y limitaciones en nuestro lenguaje para definir nuevos fenómenos; puede suceder, en efecto, que el lenguaje ordinario no esté acondicionado o adaptado para hacer referencias a fenómenos completamente nuevos. Cabe señalar, entonces, que el que un objeto cuántico esté ontológicamente caracterizado por la ausencia de identidad y, por tal, de individualidad no significa que hay una suerte de “carencia ontológica”: simplemente se trata de otro dominio ontológico en el que las entidades cuánticas son entidades nomológicas no empíricas, es decir, vienen dadas por las leyes de la física y no por características observables. Como consecuencia, la teoría cuántica define lo que son sus objetos de manera completamente distinta a como lo hace cualquier otra teoría.

Por otra parte, algunos de los científicos que se ocuparon de revisar el formalismo de la teoría cuántica y examinar algunos de sus presupuestos fundamentales desde una posición ortodoxa (el más claro ejemplo en este sentido sin duda es Einstein) llegaron a considerar, en principio, que la teoría cuántica no era una teoría plenamente madura (por faltarle fundamento teórico, metodológico o empírico) y que sólo en esta medida le resultaba lícito hablar de entidades sin los atributos de los objetos y cuerpos clásicos. No obstante, opiniones semejantes no resultaban del todo razonables para otros físicos como Bohr. La orientación del físico danés, en este caso, parece sugerir, desde un punto de vista quizá menos ortodoxo, que si la física cuántica habla de sus objetos de estudio en forma “clásica” no es en virtud de su falta de “madurez”, sino en virtud de un pragmatismo epistemológico; como teoría, la cuántica no puede deslindarse de hacer pronunciamientos tales como “existe” y “es así”, pues ello es lo que se espera de cualquier teoría. La teoría cuántica, al presentar y divulgar sus resultados, se ve en la necesidad de expresarse obedeciendo a una lógica tradicional en la que prevalecen los principios de identidad y de causalidad, con innegable rendimiento práctico. En este sentido, aunque los objetos de la física cuántica sean indiscernibles (tanto a nivel epistemológico como ontológico), ello no entra en contradicción con su existencia deducida de propiedades y atributos del mundo físico tales como carga, masa, etc. Además, los resultados de la teoría cuántica han sido corroborados con éxito una y otra vez y no podría simplemente despachársele como teoría inmadura dado su obvio rendimiento teórico y experimental.

De cualquier forma, importa destacar aquí que resulta interesante señalar el hecho de que la teoría cuántica, en un periodo de tiempo relativamente breve, ha adquirido una solidez sin parangón a pesar de que sus objetos de estudio son de difícil acceso intuitivo. Edgar Morin, acertadamente, comenta el estatus de esta cuestión: “Las partículas que aparecen (en la física cuántica) ya no pueden ser consideradas

como objetos elementales claramente definibles, identificables, medibles. La partícula pierde los atributos más seguros del orden de las cosas y de las cosas del orden. Se desune, se disloca, se indetermina, se polidetermina bajo la mirada del observador. Su identidad se disloca, dividida entre el estatuto de corpúsculo y el estatuto de onda. Su sustancia se disuelve, convirtiéndose el elemento estable en elemento aleatorio. Ya no tiene localización fija e inequívoca en el tiempo y en el espacio. Una delirante papilla subatómica de fotones, electrones, neutrones, protones desintegra todo lo que entendemos por orden, organización, evolución. Ciertamente el átomo sigue siendo una entidad organizada, un sistema del cual da cuenta un formalismo matemático coherente. Pues el desorden permanece en los bajos fondos microscópicos. Aparentemente no surge en nuestra escala de espíritu y realidad” [15].

De este modo la naturaleza de los objetos cuánticos deja invalidado lo obvio de la física clásica. La realidad descrita por la teoría cuántica obedece a una nueva configuración ontológica; presenta una realidad diferente caracterizada por la discontinuidad y cuyas entidades, en última instancia, revelan que el mundo de lo ordinario, de las percepciones sensibles, de la intuición “clara y distinta” no es más que una configuración física específica, un nivel de realidad.

En resumen, más allá de los problemas lógicos o metodológicos de la teoría cuántica, se requiere del establecimiento de nuevos parámetros ontológicos en los que se pueda contemplar a los objetos físicos como objetos reales, pero tomando en cuenta que estos objetos implican un replanteamiento del principio de identidad y del principio de causalidad. Una ontología como la requerida por la teoría cuántica sería una ontología de la reducción a posibilidades, porque en física cuántica se conoce, a lo sumo, el estado de una entidad (un electrón, por ejemplo) pero sólo se puede deducir cuál es su posibilidad de aparición. Esta ontología, como consigna epistemológica, supondrá que del micro mundo cuántico no se conocerán ya sus “objetos”, sino única y fenoménicamente lo “suficiente” (aquello que la capacidad gnoseológica permita discernir).

A la luz de lo anterior queda consignado que los objetos de la física cuántica no son propiamente cosas, sino sistemas físicos. Por otro lado, se sabe que resulta inoperativo, a escala subatómica, el expresarse en términos de “objetos”, “cosas” o “cuerpos” ya que la física desentraña comportamientos y propiedades pero no define, sino sólo parcialmente y por inferencia, lo que los objetos cuánticos “aparentan ser”. Con este propósito la teoría cuántica utiliza la función de onda ( $\psi$ ). Esto es necesario, puesto que en el mundo subatómico, y dado el principio de incertidumbre de Heisenberg, la descripción de un objeto es la descripción de sus propiedades posibles, de su comportamiento probable pero no del “objeto mismo”. Una función de onda señala, por ejemplo, la probabilidad de encontrar un electrón en una posición particular. Esto resulta clave en la comprensión del horizonte de representación de la teoría cuántica ya que, en buena medida, la mecánica cuántica ha prescindido de las nociones de objeto-entidad para dar preeminencia a la noción de función de on-

da. Esto no quiere decir, desde el punto de vista ontológico, que dicha función de onda es una entidad física real (aunque hay interpretaciones, como las llamadas interpretaciones de “colapso objetivo”, que aseguran que la  $\psi$  es ontológicamente real) o que los objetos cuánticos son, en sí mismos, “funciones de onda”. La función de onda es una entidad matemático-formal que en última instancia codifica todo lo que puede saberse de un sistema cuántico. Las entidades cuánticas, como el electrón u otras partículas subatómicas, siguen siendo consideradas como entidades físicas reales, pero sólo pueden ser conocidas a través de la información proporcionada por las funciones de onda ya que éstas resumen todo lo que es viable conocer de una partícula.

## 6. Hacia nuevas perspectivas ontológicas

En las secciones anteriores se ha mostrado un esbozo de la naturaleza del objeto cuántico y a la luz de ello cabría preguntarse ahora el cómo es que se define su estatus ontológico. Como se advirtió en su momento, al interior de toda teoría física subyace un principio de compromiso ontológico: cualquier teoría, necesariamente, debe delimitar el estatus ontológico de las entidades que postula. Las teorías físicas, independientemente de su corpus, confieren un estatus ontológico a sus objetos en la medida en que definen, analizan y establecen propiedades y cualidades a través de procesos como la medición. La teoría cuántica sigue este lineamiento pero va más allá de cualquier otra teoría, pues obliga a establecer nuevos parámetros ontológicos en virtud de la naturaleza de su propio objeto de estudio. El establecimiento de una descripción a nivel teórico y meta teórico del objeto cuántico supone la emergencia de un nuevo dominio ontológico.

Antes del desarrollo de la física cuántica, la ciencia moderna sostenía su edificio sobre los cimientos de una ontología determinista-materialista, cuya aceptación permitía, desde la óptica científica, suponer que el mundo está regido por leyes de carácter causal que se aplican a todos y cada uno de los fenómenos físicos de la realidad. Esta ontología determinista, considerada universal y estricta, se encontraba en el sustrato de la realidad física y era extensiva a todos los fenómenos de universo, de modo que la totalidad de lo existente, incluyendo desde luego sus objetos, se asimilaba perfectamente como un entramado de leyes de carácter causal. La ciencia moderna, desde Galileo hasta Maxwell, operaba bajo los lineamientos de una ontología materialista que suponía que la realidad era una realidad de carácter material absolutamente determinada y cognoscible a través de leyes universales. Esta visión resultó tan operativa que prácticamente dio sustento durante siglos a los desarrollos científicos y filosóficos en el horizonte cultural desde el siglo XVII y hasta prácticamente finales del siglo XIX.

Sin embargo, tanto la ontología como la ciencia física a la que daba sustento presentaron en su momento síntomas de un claro resquebrajamiento. Tres episodios (señalados aquí sin orden cronológico) son contundentes en esta mutación: 1) La

profundización en la investigación de la naturaleza de la luz que concluyó afirmando que la misma tiene un doble comportamiento, corpuscular y ondulatorio, 2) el desarrollo de la termodinámica, que permitió analizar la aplicación del principio de conservación de la energía en lo que se refiere a la transformación constante de ésta, y que posibilitó a la ciencia física el profundizar de forma significativa en el concepto de energía, restándole importancia al concepto de materia y, 3) el desarrollo del electromagnetismo, que introdujo el concepto de campo para explicar fenómenos con interacciones a distancia.

Estos hechos favorecieron paulatinamente la disolución de una ontología que proporcionaba una visión del mundo y de sus entidades estática-materialista y causalista y fueron el preámbulo de la posterior revolución cuántica, en la que los principales postulados ontológicos de la física serían irreversiblemente modificados. Al propio Planck le perturbó profundamente el hecho de que su encuentro con la cuantización de la energía significaba, de fondo, la dilución de los presupuestos fundamentales de la ontología subyacente a la ciencia física. La forma lógica de la ontología, representada por los principios de identidad, de no contradicción, de razón suficiente y el principio de causalidad, que tanto habían contribuido en la construcción de una imagen de lo real “sólida” y homogénea, de golpe, comenzó a resultar limitada e insuficiente de cara a los fenómenos y entidades cuánticos. En este sentido la teoría cuántica, con todas sus consecuencias y en todas sus manifestaciones contemporáneas entraña una reformulación ontológica sin parangón.

Una ontología que pretenda contemplar e integrar los fenómenos, objetos y resultados de la teoría cuántica (y probablemente de la ciencia en general) deberá asumir, de entrada, que una buena parte de su competencia radicará en el observar cuidadosamente las reformulaciones, construcciones y deconstrucciones de todo conocimiento científico. Estas transformaciones, invariablemente, también le pertenecerán, ya que toda renovación científica es una renovación ontológica. Una ontología dispuesta renovarse en vista de todo lo anteriormente expuesto deberá, en principio, reconocer que es no universal sino multifacética, multifactorial y que sus principios, otrora fundamentales, tienen un rango de acción y aplicación limitada, de acuerdo con determinados contextos y marcos de referencia. En esta tónica, sus principios no habrán de ser despachados simplemente como insolubles o como artificiales con vistas a su destitución (con la ingenua idea de destituirlos a favor de otros nuevos y exóticos); antes bien, es importante reconocer que los elementos de “no contradicción” y razón suficiente-causalidad, correlatos a su vez del principio de identidad, siguen siendo perfectamente operativos pero únicamente a cierta escala. Los principios “guía” de la ontología, en este caso, son perfectamente coherentes respecto a la interpretación del mundo físico a escala de la física clásica, es decir en un horizonte macroscópico, pero no así en el marco de referencia de los fenómenos y objetos de horizonte subatómico. La física cuántica tiene sus propias en-

tidades, su propia lógica, sus propios horizontes problemáticos en donde, sin duda, la lógica de lo macroscópico no se cumple.

En este sentido, la ontología que subyace a física cuántica en su conjunto suspende el carácter extensivo del otrora fundamental principio de identidad. Este principio lógico-ontológico, en su forma más general, afirma que toda entidad es idéntica a sí misma y que no puede ser otra cosa. Sin embargo, la identidad desde la antigüedad y hasta el siglo XIX estaba asociada, tanto física como ontológicamente, a la esencia objetiva material y definitiva de un objeto en sí mismo. Desde el punto de vista de la física clásica, la materia era la prueba definitiva del cumplimiento de este principio (frente a la materia “cerrada”, la mente observa regularidades expresables en leyes de asociación, contigüidad, causa-efecto).

Empero, el desarrollo de la mecánica cuántica exhibió que la realidad física, en una escala mucho más elemental, supone un dominio poblado de entidades que no pueden ser ni estudiadas, ni descritas, ni conocidas bajo los esquemas de la ontología clásica: las entidades cuánticas no pueden ser conocidas en sí mismas, sino únicamente mediante la observación de sus propiedades; son entidades de inferencia y carecen de alteridad, de materialidad enteramente verificable y de identidad. Schrödinger afirmará categóricamente a este respecto que: “[...] ahora nos vemos obligados a afirmar que los componentes finales de la materia no poseen “mismidad” alguna. Cuando observas una partícula de un tipo determinado, pongamos por caso un electrón, aquí y ahora, debes considerarlo, en principio, como un acontecimiento aislado. Incluso si observas, muy poco tiempo después una partícula similar en un punto muy próximo al primero, y hasta si tienes toda la razón para encontrar una relación causal entre la primera y la segunda observación, no tiene auténtico e inequívoco sentido afirmar que es la misma partícula la que has observado en los dos casos. Puede que las circunstancias sean tales que aconsejen y hagan deseable que te expreses de esa manera, pero no es sino una limitación; debe tenerse en cuenta que en otros casos la “mismidad” pierde sentido por completo y que no hay una frontera precisa, una distinción clara entre ambos, sólo hay una transición gradual por encima de casos intermedios. Quiero hacer hincapié en esto y les ruego que lo crean: no se trata de que seamos capaces de afirmar la identidad en algunos casos y de ser incapaces de hacerlo en otros. No cabe la menor duda de que la cuestión de la “mismidad”, de la identidad, carece realmente de sentido” [16].

Si, como advierte Schrödinger, la identidad queda anulada, las relaciones de causalidad, contigüidad y no contradicción que la acompañan, de igual modo, quedarían suspendidas. Frente a esto queda claro que las certezas ontológicas deben ser modificadas. La teoría cuántica advierte entonces que, antes de expresarse en la forma “tal o cual cosa es”, resulta preferible pensar en términos “potencialidad”, de “tendencia a existir”, lo cual conduce al siguiente punto. La ontología, cuyo objetivo se centra en el examen (que no en la fundamentación) de las condiciones de posibilidad de lo real, y en el análisis de las entidades que pueblan eso que se ha-

ce llamar “realidad”, se ve llamada, desde los presupuestos probabilístico-estocásticos de la teoría cuántica, a introducir en sí misma un elemento de “potencia”; los objetos cuánticos aparecerán en esta tónica como “actualización de potencialidades”. Al no haber “cosas puntuales” sino entidades-fenómeno, u objetos situacionales y, más aun, al no existir fronteras entre el sujeto que observa y la realidad observada (dadas las relaciones de incertidumbre y correspondencia que la teoría cuántica impone), lo que se tiene es que el objeto cuántico es, ante todo, fenómeno como realidad parcialmente totalizada que, a nivel epistémico, involucra justamente la actualización de potencialidades.

El enfoque ontológico de la física cuántica en términos de potencialidad-actualidad, que ya había sido advertido por Heisenberg, guarda semejanza respecto a los conceptos “acto” y “potencia” utilizados en la Metafísica de Aristóteles para explicar el devenir del Ser [17]. Para dar cuenta del “cambio” el filósofo griego asumió como necesario el establecimiento de una síntesis que pudiera unir dos perspectivas ontológicas confrontadas por entonces: la de Parménides y la de Heráclito. El considerado padre de la ontología, Parménides, había llegado a un extremo monismo estático al afirmar que los cambios en los componentes de la realidad podían ser explicitados a través de las nociones de “ser” y de “no ser”. Heráclito, en contraste, afirmaba que la realidad es un permanente devenir. En su ontología, Aristóteles sintetiza ambas ideas al señalar que la “potencia” es una forma real de “no-ser” que intrínsecamente contiene su capacidad de “poder llegar a ser”. De acuerdo a esta perspectiva, la ontología clásica consideraba que sólo es real aquello que está actualizado en tanto que ser. La perspectiva aristotélica, vista aquí lacónicamente, parece reflejar lo que ya se ha advertido que ocurre en la mecánica cuántica: que los componentes de la realidad subatómica, en su carácter incognoscible, son entidades “potenciales” sólo conocidas en tanto actualizadas. Ontológicamente, en la mecánica cuántica las entidades cuánticas aisladas nunca están en “acto”, sólo en “potencia”. Esta potencialidad es la que en última instancia definirá el estatus ontológico de dichas entidades, pues sólo por ella se accede al conocimiento, en este caso provisional, de una perspectiva de la realidad.

Para la ontología tradicional la realidad era concebida como lo “actualizado”, lo que está en acto. Aquí, el fundamento lógico de la ontología, que sostiene la idea de actualidad-realidad, es el principio de no contradicción, a través del cual se asume que lo “actual” es lo absolutamente determinado, omitiendo toda indeterminación. Este principio, además, justificaba el propio principio de identidad pues afirmaba que, si algo “es”, no puede “ser” otra cosa. Esta ontología (y su lógica) de aparente intuición inmediata crearon un sendero de seguridad sobre la base de la exclusión sistemática de lo contingente, lo azaroso y lo indeterminado, lo cual sin duda influyó en todo el pensamiento científico y filosófico prácticamente hasta la emergencia, en física, de la mecánica cuántica. La física clásica trazó su concepto de objetividad sobre las bases de una estabilidad ontológica en la que el acceso a lo real, a los objetos como “son en sí mismos”, no estaba puesta

en duda. Esta física apareció como la generalización y acaso materialización de una ontología de lo determinado. Las ciencias naturales en su conjunto, entonces, apuntaban a una visión de mundo y de realidad en la que los objetos no eran más que la suma de sus propiedades netamente perceptibles-actuales. En esta tónica, lo “potencial”, lo que no puede ser conocido ni manipulado, resultaba ser sinónimo de imperfección e incompletud. Esta visión se vino abajo en el momento en que, en el terreno de la ciencia (y más precisamente en el dominio de la mecánica estadística, precursora de la posterior teoría cuántica), se dio la irrupción de la probabilidad. La inferencia de la existencia de entidades reales (como las moléculas de un gas) a partir de consideraciones netamente estadísticas hizo evidente que la despreciada “potencialidad” era algo más que una “nube de desconcierto”. Posteriormente, con la mecánica cuántica, la potencialidad adquirió la forma de “posibilidad de actualización” y comenzó a poner en duda la idea tradicional de objetividad, puesto que el otrora objeto físico puntual, localizable e identificable, comenzaba a ser ontológicamente considerado como “probabilidad”. En relación a ello Davies señala: “El indeterminismo cuántico implica que para un estado [...] existen muchos [...] futuros alternativos o realidades potenciales. La mecánica cuántica suministra las probabilidades relativas de cada resultado, aunque no nos dice cuál futuro potencial se convierte en realidad. Pero cuando un observador humano realiza una medición, sólo se obtiene el resultado [...] en la mente del observador, lo posible pasa a ser real y el futuro abierto pasa al pasado fijo [...]” [18]

Bajo la perspectiva de la nueva ontología, entonces, se muestra que los “objetos” de la realidad física subatómica pueden ser descritos como “fenómenos” y que, pese a ello, no son ni más ni menos reales que los objetos del macro-mundo: tienen otro tipo de realidad. Las entidades cuánticas están determinadas probabilísticamente, potencialmente. Siguiendo esta línea de ideas, una ontología así reformulada implicará la no reducción a lo meramente actual (la actualización es únicamente una parcela de realidad y, en todo caso, una “forma de ser”) y la consideración de nuevos marcos de referencia para acceder a lo real (un buen inicio es asumir que “lo posible”, terreno en el que se sitúan las entidades cuánticas, es también parte de lo “real”). Esto último resulta fundamental, pues las leyes que rigen el universo cuántico, como el principio de incertidumbre exigen un serio replanteamiento crítico de la ontología y, sin duda, aportan elementos para ello. La teoría cuántica se abre paso como un nuevo marco de referencia para interpretar y describir la realidad de una manera integral que posibilita, tanto el acceso a nuevos fenómenos naturales, como la íntima integración de la experiencia humana en la naturaleza.

Resta señalar aquí que la ontología de la mecánica cuántica exhibe abiertamente que la realidad no es, ni de cerca, simple y concreta. Evidencia de ello ha sido (y es) la dificultad que entraña la descripción, definición o caracterización del propio objeto cuántico, tanto así que Lee Smolin llega a afirmar que éste es una suerte de metáfora: “[...] todas las propieda-

des de las cosas son en última instancia relativas. La noción de propiedad absoluta [...] ha quedado tan obsoleta como la concepción newtoniana de un espacio y tiempo absolutos.” [19]. De cara a un horizonte de realidad, en complejidad creciente, el objeto cuántico se configura como una “nube” o “constelación” de determinaciones múltiples. Ello conduce, sin lugar a dudas, a considerar que la teoría cuántica (y toda forma de hacer física, a la postre) ya no puede ser comprendida a través de que una ontología “cerrada” o unitaria.

El nuevo horizonte de representaciones e interpretaciones del mundo físico, abierto por la física cuántica, implica el rebasamiento de los principios de realidad que daban sustento a una concepción del mundo unívoca, estática, unidimensional, y simplificante, más propia de la ciencia clásica moderna. Dicho rebasamiento supondrá la puesta en escena de un nuevo horizonte de realidad y un límite al acceder a ella. Cuando la mecánica cuántica deja de hablar de materia para hablar de energía, de objetos para hablar de estados fenoménicos y de causas subyacentes para hablar de indeterminación, en definitiva, refiere al conocimiento de una “porción” de realidad concebida bajo nuevos principios ontológicos situados más allá de lógicas convencionales y nociones comunes.

Resulta claro, entonces, que tanto los resultados como las premisas de la mecánica cuántica han dado lugar a una nueva objetividad, a una causalidad no determinista que se sitúa dramáticamente lejos de cualquier otro criterio ontológico y epistemológico de objetividad y realidad preexistente. Lo que se advierte ahora es que el ser humano se encuentra ante una nueva científicidad, una nueva forma de hacer ciencia que implica la reestructuración de principios mentales, empezando por la no simplificación. A la postre, habrá que redefinir el objetivismo, el subjetivismo, el “ente” y otros conceptos semejantes, pues la física cuántica sólo admite, provisionalmente, las categorías de representación de la realidad física tradicionales. El resultado de esta redefinición, invariablemente, pasará a modificar nuestro concepto de realidad.

Dadas estas condiciones resulta evidente que la ciencia, en las últimas décadas, ha demostrado ser el terreno fértil a partir del cual la filosofía puede hacer pronunciamientos reflexivos respecto a la propia ciencia y respecto a sí misma. En torno a ello, la ciencia contemporánea no admite ser objeto de una filosofía añeja que pierda el tiempo con diputas domésticas, sino una filosofía que pueda asumir lo real como un entramado de múltiples perspectivas. Aquí no hay lugar para el establecimiento de espacios “doctrinarios”: se impone la exigencia de asumir nuevos compromisos filosóficos frente a una clara ruptura ontológica y epistemológica que, lejos de apuntar a que la realidad es una mera fantasía, un constructo social subjetivo o una maraña de entidades exóticas, se dirige a evidenciar que es, ante todo, un horizonte de configuraciones indiscutiblemente incluyente.

Naturalmente, lo señalado no está exento de conducir a terrenos polémicos. Si acaso la apertura de este nuevo horizonte de lo real sufrirá modificaciones igualmente sustanciales, será tarea de la ciencia el averiguarlo. Por lo demás, a la filosofía le tocará dar constancia de estas mutaciones em-

prendiendo el camino de una ontología con nuevos matices y directrices, que se aleje de los convencionalismos que en algún momento le dieron forma. Esta tarea implicará, necesariamente, cuestionar, criticar y acaso desechar prejuicios anacrónicos universalistas de los que, tanto la filosofía como la ciencia, son deudores desde la Modernidad, empezando con una ontología cerrada y pretenciosa sólo basada en el supuesto de la causalidad universal. En este contexto, la tarea fundamental de la física y de la filosofía consistirá, en buena medida, en confrontar y analizar las múltiples correlaciones, las múltiples causas que afectan al hombre y a la realidad física, más allá de la contemplación estática de argu-

cias postmodernas o de un relativismo infértil. A la luz de una ontología reformulada (que contemple la integración de una complejidad creciente, la introducción de nuevos principios y el rebasamiento de sus propias fronteras) será posible llevar a cabo un proyecto humano y metódico de conocimiento multi-perspectival. Un proyecto de tal envergadura no es solamente sugerible sino necesario, pues los excesos, lagunas y ausencias del pensamiento contemporáneo se deben a que en buena medida no existe un “método”, pero no uno como el método científico o el método cartesiano, sino un método que pueda verse como una ciencia de la ciencia, y en el caso concreto de esta reflexión, como una ontología de la ontología.

- i.* La identidad, como concepto lógico-ontológico, es de uso frecuente en la filosofía y designa el carácter de lo que permanece idéntico a sí mismo y con carácter único. La identidad supone un rasgo de permanencia y de invariabilidad. En sentido estrictamente ontológico, la identidad es uno de los rasgos del Ser, propuesta por el filósofo presocrático Parménides de Elea en la forma “lo que es, es”. Ahora bien, una dificultad siempre presente al abordar este tipo de cuestiones es que el mencionado principio de identidad va acompañado e íntimamente ligado a otros elementos lógico-ontológicos, en este caso en particular, a los principios de causalidad y de razón suficiente. En primera instancia, el principio de identidad se asocia con el principio de causalidad. Aunque en su caso el principio de causalidad ya había sido enunciado por Platón y Aristóteles, durante el racionalismo del siglo XVII se identificó “causa” con “razón” suponiendo con ello que todo efecto está no solo comprendido en la causa, sino que es “idéntico” a la misma. En otros términos, para la ontología lo real es lo idéntico-razional con vistas a la explicación, por lo que el principio de identidad, aplicado a objetos en el tiempo y el espacio es el equivalente al llamado principio de causalidad. Esta última noción es atribuida al filósofo francés Émile Meyerson (1859-1933) y es a partir de su formulación que resulta viable afirmar que, en efecto, el principio de causalidad es una forma del propio principio de identidad. En segundo lugar se considera que el principio de causalidad es un aspecto del principio de razón suficiente enunciado por Wilhelm Leibniz (1646-1716) en la forma “No podría hallarse ningún hecho verdadero o existente ni ninguna enunciación verdadera, sin que haya una razón suficiente para que sea así y no de otro modo”. Ahora, aunque la propuesta de Meyerson resulte quizá polémica o controversial, será necesario mantenerla a la vista a lo largo de este trabajo dado que, en una reflexión sobre los problemas ontológicos de la teoría cuántica, contribuye a sintetizar de elementos problemáticos y favorece el potencial explicativo del presente trabajo.
- ii.* En su texto “Para qué aún la filosofía”, Adorno afirma: “La filosofía fue en la consciencia pública la primer disciplina que sucumbió a la crisis del concepto humanista de formación [...] una vez que desde aproximadamente la muerte de Kant se había vuelto sospechosa debido a su desproporción con las ciencias positivas, sobre todo con las de la naturaleza” (Adorno, 2009, p. 401). Y más adelante señala: “Si la filosofía se deshiciera del miedo que el terror de las corrientes dominantes le infunde

(el miedo ontológico a pensar algo que no sea puro; el miedo científico a pensar algo que no esté ‘conectado’ con el corpus de los hallazgos científicos reconocidos como válidos), podría conocer lo que ese miedo le prohibió, lo que una consciencia no echada a perder habría buscado”. Y, finalmente: “Una de las tareas que la filosofía debe acometer sin demora es proporcionar al espíritu, sin analogías ni síntesis de aficionado, las experiencias de las ciencias naturales [...]. Si la filosofía no tuviera otra cosa que hacer que llevar a la consciencia de sí mismos de los seres humanos al estado de lo que saben de la naturaleza, en vez de que, como cavernícolas, vivan a la zaga de su conocimiento del cosmos en el que la poco sabia especie humana vive desamparada, esto ya sería algo” (p. 411).

- iii.* La ciencia moderna (particularmente la física) hasta finales del siglo XIX sostenía que es posible tener alguna idea de todos los objetos existentes del universo (partículas y campos) y su localización espacio-temporal, y que los comportamientos de dichos objetos pueden ser perfectamente descritos (por ejemplo, en mecánica clásica, conociendo sus velocidades y posiciones). Además, se suponía que siempre hay una teoría capaz de describir las interacciones entre los objetos del mundo natural. Este es claramente el ideal del determinismo laplaciano que sería predominante en la ciencia moderna hasta el desarrollo de la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad. Pierre Simon de Laplace (1749-1827) llegará a afirmar categóricamente: “Una inteligencia que en un momento determinado conociera todas las fuerzas que animan a la Naturaleza, así como la situación respectiva de los seres que la componen, si además fuera lo suficientemente amplia como para someter a análisis tales datos, podría abarcar en una sola fórmula los movimientos de los cuerpos más grandes del universo y los del átomo más ligero: nada le resultaría incierto y tanto el futuro como el pasado estarían presentes ante sus ojos.” (Laplace, 1988, p. 25). Así pues, en la Modernidad se pensaba que la ciencia, en efecto, estaba en plena posibilidad de esclarecer la totalidad de fenómenos de la Naturaleza. Sin embargo, con la emergencia de la teoría cuántica y la teoría de la relatividad se presentaría un panorama totalmente contrario.
- iv.* Agazzi señala: “[...] la ciencia busca hipótesis y principios, mediante los cuales la estructura de los hechos experimentales pueda ser descrita por medio de deducciones rigurosas, sin pretender en ningún momento que tales hipótesis y principios sean ‘necesarios’, en el doble sentido de ser los únicos que hacen po-

- sible la explicación y de ser intrínsecamente incontrovertibles”. (1978, p. 61).
- v. Para profundizar respecto a los problemas ontológicos de la mecánica cuántica y sus diversas interpretaciones, en castellano, consúltese Diccionario Interdisciplinar Austral (Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck eds.) <http://dia.austral.edu.ar>, particularmente los textos citados en el presente trabajo.
- vi. Cabe señalar que la “especiación” de la que habla Kuhn en su momento, es decir la aparición de una nueva física, a juicio de esta reflexión está más allá de ser consecuencia de una “revolución” o de emerger como un nuevo “paradigma” en los términos del modelo kuhniano de desarrollo científico, ya que la teoría cuántica no es consecuencia natural de la mutación sufrida por la física clásica ni una suerte de reinención de la misma; la física cuántica, en inicio, no contó con un aparato lógico, teórico, metodológico, conceptual, ontológico previo del cual partir y tampoco supuso, ya desarrollada, la suplantación del “paradigma clásico”: fue algo completamente nuevo y diferente.
- vii. “La idea de un sustrato que actúa como portador de propiedades y/ o como principio de individuación ha impregnado la historia de la filosofía. [...] está presente bajo diferentes formas en “sustancia primaria” de Aristóteles, en la doctrina de la “sustancia en general” de Locke o en las mónadas de Leibniz. Sin embargo, muchos filósofos pertenecientes a la tradición empirista, de Hume a Russell, Ayer y Goodman, han considerado que la posibilidad de un sustrato sin personalidad es un abuso metafísico” (2008, *passim*)
- viii. Heisenberg afirma: “[...] la interpretación teórica de un experimento requiere tres etapas distintas: 1) la traducción de la situación experimental inicial en una función de probabilidad; 2) seguir esta función en el curso del tiempo; 3) el establecimiento de una nueva medición que habrá de hacerse, cuyo resultado puede ser calculado mediante aquella función. Para el primer paso, es condición necesaria el cumplimiento de las relaciones de incertidumbre. El segundo paso no puede ser descripto mediante conceptos clásicos; no existe descripción de lo que le sucede al sistema entre la observación inicial y la medición siguiente. Sólo en el tercer paso volvemos de lo que está “en potencia” a lo que está “en acto”. (Heisenberg, 1959. p. 32.)
1. Gennaro Auletta, *Foundations and Interpretation of Quantum Mechanics*. (World Scientific, London, 2001), p. 103.
  2. W. Heisenberg *Prefacio*, en *Einstein, Albert y M. Born*, Correspondencia 1916-1955 (Siglo XXI Editores, México, 1999), p. 6.
  3. T.W. Adorno, “Para qué aún la filosofía”, en *Crítica de la cultura y sociedad II*. Intervenciones. Entradas., *Obra completa* (Ediciones Akal, México, 2009) pp. 401-411.
  4. Agazzi Evandro, *Temas y problemas de filosofía de la física* (Herder, Barcelona, 1978), p. 61.
  5. Vanney, Claudia E. 2016. “*Interpretaciones de la mecánica cuántica*”. En *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y Juan F. Franck. [URL=http://dia.austral.edu.ar/Interpretaciones\\_de\\_la\\_mecánica\\_cuántica](http://dia.austral.edu.ar/Interpretaciones_de_la_mecánica_cuántica)
  6. S. Fortin, y C. López, “*Problemas ontológicos de la mecánica cuántica*”. En *Diccionario Interdisciplinar Austral*, editado por Claudia E. Vanney, Ignacio Silva y J.F. Franck (2016). [URL=http://dia.austral.edu.ar/Problemas\\_ontológicos\\_de\\_la\\_mecánica\\_cuántica](http://dia.austral.edu.ar/Problemas_ontológicos_de_la_mecánica_cuántica)
  7. F.T. Arijtsev, *La Materia como categoría filosófica*, (Grijalbo, México, 1966), p. 11.
  8. C. Mataix y A. Rivadulla (eds.), *Quantum Physics and Reality/Física Cuántica y Realidad*, (Editorial Complutense Madrid, 2002), p.37.
  9. S. Toulmin, *La comprensión humana I*. El uso colectivo y la evolución de los conceptos (Alianza, Madrid, 1977), p. 247.
  10. T. Kuhn, *La Tensión Esencial* (Fondo de Cultura Económica, México, 1982) *Passim*.
  11. O. Lombardi, & M. Castagnino, “*A Modal-Hamiltonian interpretation of quantum mechanics*”, (2008) versión electrónica en: <https://arxiv.org/ftp/quant-ph/papers/0610/0610121.pdf>
  12. O. Lombardi, & M. Castagnino, *Op. cit.* p. 68.
  13. S. French, & D. Krause, *Identity in physics. A historical, Philosophical and formal analysis*. (Clarendon press, Oxford, 2006). p. 8.
  14. Giuliano Toraldo di Francia, “*A World of Individual Objects*” en, Castellani, E. (ed.), *Interpreting bodies. Classical and quantum objects in modern physics*, (Princeton University Press, Princeton, 2008). p. 28-29.
  15. E. Morin, *El método* (Cátedra, Madrid, 2009) **Vol. 1**, p. 55.
  16. E. Schrödinger, *Ciencia y humanismo*, (Tusquets, Barcelona, 1985) p. 36.
  17. Aristóteles, *Metafísica*, Libro IX (Gredos, Madrid, 2012).
  18. Davies, Paul, “*Ese misterioso flujo*”, en *Scientific American*, (México, 2002), año I, núm. 5, p. 27.
  19. Smolin, Lee, “*Una teoría de la totalidad*”, *La tercera cultura*. Más allá de la revolución científica, (Tusquets, Barcelona, 2000), p. 272.
- Además de los documentos citados se consultaron los siguientes textos:
- Laplace, Pierre-Simon de, *Ensayo filosófico sobre las probabilidades*, (Alianza Editorial/ SEP, México, 1988) p. 25.
  - W. Heisenberg, *Física y Filosofía*, (Ediciones La Isla, Buenos Aires, 1959). p. 32.