

CONCEPCIONES DE PROFESORES ACERCA DE LA FUNCIÓN DE ONDA DE SCHRÖDINGER EN FÍSICA CUÁNTICA

TEACHERS' CONCEPTIONS ABOUT THE SCHRÖDINGER WAVE FUNCTION IN QUANTUM PHYSICS

Daboín Frank Sinatra¹, Gutiérrez Gladys Marleny¹

¹Universidad de Los Andes. - Venezuela.

Resumen

La física cuántica es un campo del conocimiento científico emergente en la física a inicios del siglo XX, y que produjo en el devenir histórico de la ciencia un nuevo despliegue del pensamiento científico y filosófico frente a fenómenos no explicables desde los presupuestos filosóficos-conceptuales y científicos de la física clásica. En el presente artículo se examina en la dimensión educativa de la enseñanza-aprendizaje de la física moderna, las concepciones epistemológicas y ontológicas que poseen profesores en relación a la función de onda de Schrödinger en física cuántica. El método adoptado estuvo enmarcado en el paradigma cualitativo, centrada en un enfoque fenomenológico interpretativo con diseño de campo bajo los criterios de fuente mixta con temporalidad evolutiva, retrospectiva y unieventual; la unidad de estudio fueron seis (06) informantes claves, todos profesores universitarios adscritos a líneas de investigación en enseñanza de la física moderna, epistemología y filosofía de la física. Los resultados permiten inferir una relación discursiva entre los estilos de pensamiento de los sujetos y la remanencia de concepciones heredadas o intervinientes desde la formación y/o quehacer docente. Así mismo al menos tres (03) categorías de concepciones epistemológicas y ontológicas en relación al objeto de estudio, a saber: realistas, antirrealistas e instrumentalistas operacionales.

Palabras clave: Epistemología, Interpretación Científica, Enseñanza, Física Cuántica, Función de Schrödinger.

Abstract

Quantum physics is an emerging field of scientific knowledge in physics at the beginning of the 20th century, and which produced in the historical evolution of science a new deployment of scientific and philosophical thought in the face of phenomena that cannot be explained from philosophical-conceptual and scientific assumptions. of classical physics. This article examines in the educational dimension of the teaching-learning of modern physics, the epistemological and ontological conceptions that teachers have in relation to the Schrödinger wave function in quantum physics. The adopted method was framed in the qualitative paradigm, centered on an interpretative phenomenological approach with field design under the criteria of mixed source with evolutionary, retrospective and one-year temporality; the study unit was six (06) key informants, all university professors attached to lines of research in the teaching of modern physics, epistemology and philosophy of physics. The results allow inferring a discursive relationship between the thinking styles of the subjects and the remanence of inherited or intervening conceptions from the training and / or teaching task. Likewise, at least three (03) categories of epistemological and ontological conceptions in relation to the object of study, namely: realists, anti-realists and operational instrumentalists.

Keywords: Epistemology, Scientific Interpretation, Teaching, Quantum Physics, Schrödinger Function.

Recibido: 16-01-2020 / **Aprobado:** 04/05/2020

Introducción

El avance de las ciencias demanda en los individuos la renovación de los paradigmas y la sustitución de viejas ideas acerca de las teorías científicas, por lo que constituye el progreso de las sociedades a la par con una dialogicidad del conocimiento concebido.

En el caso concreto de la física cuántica, se hace necesario asistirse de ramas auxiliares en la filosofía de la ciencia, es decir, de la epistemología y la ontología de la física, puesto que cualquier teoría introduce en la descripción de sus fenómenos elementos que requieren ser interpretados a la luz de una correspondencia con la concepción del mundo físico. Dado que estas ramas de la filosofía de la ciencia contribuyen al esclarecimiento de los procesos de construcción del conocimiento científico, su proceso de validación, la diferencia entre otros tipos de conocimiento, la naturaleza de los objetos de estudio y sus propiedades inherentes, respectivamente.

De allí que la función de onda de Schrödinger como objeto central en la descripción operativa de los sistemas cuánticos contempla una reflexión en el orden epistemológico y ontológico. En primer lugar, por su carácter antagónico a otros elementos de la física clásica, y en segundo lugar, debido a que en el devenir histórico se le asocio una variedad de interpretaciones desde la visión filosófica y científica de los principales padres de la física cuántica.

Por los motivos arriba señalados, los problemas de interpretación que produce la complejidad de los entes y fenómenos cuánticos, especialmente el caso de la concepción asociada a la función de onda de Schrödinger, despliega en aquellos individuos carentes de una formación acerca de la naturaleza y filosofía de la ciencia ciertas concepciones epistemológicas y ontológicas desvirtuadas. Y estas concepciones se

encuentran relacionadas a una cosmovisión del mundo que se reactualiza en las controversias y consensos acerca de los nuevos hechos científicos y las nuevas interpretaciones de esas teorías científicas.

Así, estudios acerca de las concepciones epistemológicas de los profesores de física (Campanario y Blandon, 2001) señalan que el enfoque epistemológico que adoptan los sujetos en relación a su perfil formativo, incide en sus procesos de pensamiento y actuación en los escenarios educativos, subsistiendo muchas veces arquetipos conductuales asimilados durante su preparación académica por estilos de enseñanza de quienes fueron sus profesores o mentores y, de la manera personal en la que estructuraron los saberes científicos en relación a sus creencias, posiciones filosóficas y reflexiones intersubjetivas.

Esta investigación tuvo por propósito conocer las interpretaciones desde las concepciones epistemológicas y ontológicas que poseen los profesores de física moderna acerca de la función de onda de Schrödinger en física cuántica y su relación a sus estilos de pensamiento.

Las concepciones epistemológicas, son aquellas nociones del profesorado referente a cómo tratar un objeto de estudio, es decir, a la naturaleza de la construcción del conocimiento científico, al grado de aproximación a la realidad y su verosimilitud con los hallazgos experimentales, en un todo correlacionado al carácter ontológico, es decir, a los atributos como propiedades inherentes a la entidad de estudio, desde la propensión de una corriente filosófica específica.

En consecuencia, las concepciones de los profesores acerca de la naturaleza de las ciencias experimentales, las posturas filosóficas y su influencia en las actividades de enseñanza y aprendizaje, deben

examinarse desde las implicaciones interpretativas, pues, la epistemología y la ontología son disciplinas para una reflexión inherente a los modos de pensar y producir conocimientos en las comunidades, ya que eventualmente las comprensiones de un cuerpo de conocimiento científico han de ser demarcado de posibles desvirtuaciones para luego ser difundidas a un público, evitando se alteren las categorías científicas que se pretenden reflejar en consenso de una representación de la realidad.

Las investigaciones en historia y filosofía de la ciencia evidencian en los profesores una diversidad de compromisos epistemológicos y ontológicos acerca de: la realidad física, el estatus de los entes que emergen de la teoría científica y su relación con la interpretación desde una visión del mundo; confiriendo como fundamento para esas diferencias una búsqueda de objetividad a partir de la interacción entre la teoría, la experimentación y el imaginario subjetivo. Algunos de estos ejemplos constituyen la teoría cinética molecular propuesta por Maxwell-Boltzman para explicar el movimiento de las moléculas de los gases, la teoría cuántica primitiva planteada por Planck para explicar el comportamiento de la cavidad radiante y, las propensiones iniciales de la Función de Onda propuesta por Schrödinger en 1926, enmarcado en la mecánica ondulatoria y su descripción de los sistemas cuánticos. (Rodríguez y Niaz, 2004; Solbes y Sinarcas, 2009). Todas estas teorías albergan en su estructura interna una entidad específica para denotar el objeto de estudio, confiriendo así una ontología complementaria a la concepción epistemológica a la realidad del conocimiento edificado a la luz de la experimentación e interpretación.

La epistemología le confiere al conocimiento un sentido profundo y más concreto, donde el saber creado permite contrastarse mediante las relaciones entre teoría y realidad. Se trata entonces, de explicar

los modos generales de conocer en el espacio social, los matices o estilos de pensamiento existentes y la articulación de tales entidades en la producción discursiva de la ciencia en su construcción de conocimiento.

La epistemología es una rama de la filosofía que se encarga de los problemas que rodean la teoría del conocimiento (Bunge, 1980), su origen o fundamento, su esencia y el criterio de verdad subyacente. Así Krajewski (1997, p.65) explica que el dominio epistemológico lo define la forma del conocimiento de la realidad, de su percepción, de sus conceptos, del carácter científico de la realidad, mientras que el dominio ontológico nos refiere al ser o estatus de los objetos tales como las cosas, los géneros o las entidades invisibles existen en realidad.

Las dos visiones anteriores se confrontan bajo las ideas del realismo y antirrealismo. Para comprender el carácter interpretativo de la física cuántica Hacking (1983) propone dos visiones, a saber:

El realismo científico dice que las entidades, los estados y los procesos descritos por teorías correctas realmente existen. [...] Aun cuando nuestras ciencias no puedan considerarse totalmente correctas, el realista sostiene que nos aproximamos a la verdad. Nuestro objetivo es el descubrimiento de la constitución interna de las cosas y el conocimiento de lo que habita en lo más distantes confines del universo. El antirrealismo nos dice lo opuesto: [...] Las teorías son adecuadas o útiles o admisibles o aplicables, pero no importa qué tanto admiremos los triunfos especulativos y tecnológicos de las ciencias naturales, no deberíamos considerar verdaderas ni siquiera sus teorías más reveladoras. (p. 18).

El concepto de concepción se maneja en la literatura psicoeducativa como una categoría que agrupa ideas vinculadas a creencias, actitudes, conocimiento práctico, esquemas mentales y otras, en relación a un tema de estudio u objeto de investigación. Así la concepción se concibe como una estructura conceptual subyacente al sujeto cognoscente, en relación a su estilo de pensamiento y a una determinada postura epistemológica (Moreno, 2012); a partir de ella, el sujeto construye una representación, modelo o decodificación de la realidad objeto de investigación para interpretar y comprender un fragmento contextual del mundo desde una perspectiva específica.

Por otra parte, la tipología de los estilos de pensamiento (Padrón, 1992a; Rivero 2000) de los sujetos se sintetiza en tres clases: a.- Sensorial: Tendiente de aquellos sujetos que justifican sus actitudes e ideas perceptivas de un evento, en el uso de los sentidos y las representaciones que coexistan en su referente cognitivo. b.- Intuitivo: Característico de las personas con inclinación a emplear las vivencias personales como medio de reflexión entre su mundo interno y la representación externa del mundo a través de la canalización del discurso verbal, corpóreo y sensible del sujeto. c.- Racional: Típico de los sujetos que enfatizan el proceso mental de abstracción, uso del análisis lógico, construcción de estructuras de procesos y esquemas de pensamiento causa-efecto.

Los sujetos en su proceso de construcción de conocimiento adoptan un enfoque epistémico relacionado a los estilos de aprendizaje y estilo de pensamiento (Padrón, 2000b; Arraga, 2002) agrupados así: 1.- Empirista-Inductivo: quienes acceden al conocimiento a través de los sentidos en correlación a los datos de la experiencia y su sistematización en representaciones numéricas o gráficas. 2.- Fenomenológico-Introspectivo: en donde

la construcción del conocimiento se da como acto de comprensión para interpretar, inferir y acceder al conocimiento de una fracción contextual de la realidad.

3.- Racional-Deductivo: inherente a los sujetos que conciben el conocimiento como un acto inventivo, de conjeturas, idealizaciones, sistematización de razonamientos coherentes y generalizables.

El concepto de ontología en un inicio se asoció a la interpretación metafísica del materialismo aristotélico, evolucionando como un auxiliar en la filosofía de la física para dar razón de los entes, cosas, sustancias y sus propiedades en el contexto de las ciencias del mundo tangible, por ejemplo en la historia de la ciencia se describe la noción metafísica de átomo y su evolución como un ente con propiedades y atributos cuantificables; de ese modo la inherente dimensión filosófica de un cuerpo teórico y sus objetos de estudio conlleva a la reflexión crítica del estado de cosas que coexisten en el mundo inteligible (de la Torre, 2013).

Ahora bien, para entretener los enfoques investigativos con el carácter interpretativo de la física cuántica, se hace mención a las siguientes clases categoriales: a.- Realismo: caracterizado por atribuir a los objetos de estudio en las ciencias empíricas un carácter existencial e independencia del sujeto que trata de conocerlas. b.- Antirrealismo: interpretado como una invención metafórica de objetos inobservables, caracterizados por propiedades atribuidas de los sujetos en su intento por describir la realidad mediante una adecuación de cuerpo teórico y su contraste empírico instrumental. c.- Instrumentalista Operacional: asumido por quienes conciben las teorías científicas, los entes físicos y sus propiedades como objetos computables que sin importar si existen en sí mismos o no, den cuenta a una propensión matemática en contraste experimental (Acurero, 1998).

En otro orden de ideas, una evocación histórica a la función de onda de Schrödinger, como objeto de estudio de la física cuántica, nos ubica en la concepción epistemológica y ontológica inicia con el físico Luis De Broglie en 1924, quien en su tesis doctoral explica como la naturaleza presenta un comportamiento dual, tanto corpuscular como ondulatorio. Aun cuando la prueba experimental devino de manera independiente, en 1927, por los físicos experimentales Davisson y Germer, quienes, al reconocer la difracción de los electrones en una red cristalina, encontraron resultados análogos a una onda. Razón que movió a muchos físicos a dar un giro a la problemática de la dualidad onda-partícula - antiguamente atribuida a la naturaleza de la luz-avocándose a construir modelos teóricos que permitieran explicar dicho comportamiento dual, germinando así la formulación de una mecánica ondulatoria y su función de onda para el tratamiento de sistemas cuánticos.

La función de onda cuántica configura los estados observables de un sistema cuántico, concebida por Schrödinger como una suerte de proceso vibratorio real en el interior del átomo con capacidad de aglomerar a las partículas como un paquete de ondas. Esta perspectiva conlleva a Schrödinger y De Broglie a concebir la idea de ondas piloto, como auténticas guías de los corpúsculos, siendo las ondas entidades con realidad física. No obstante, Heisenberg renunciando a los conceptos de onda y partícula, desarrolló un planteamiento matemático conocido como mecánica matricial, en la que sus objetos de estudio constituyen variables dinámicas de carácter matemático, situación que erradica la necesidad de recurrir a entes físicos con interpretación ontológica; este enfoque es muy distinto al de Schrödinger, pero guarda una equivalencia matemática-experimental (Lucena, 1996) para la descripción de los fenómenos cuánticos.

Desde esta contraposición epistemológica y ontológica de los modelos teóricos creados a partir de los modelos matricial y ondulatoria, surgen una serie de interpretaciones a la mecánica cuántica (Cassini, 2016; González y Roldán, 2003; Gómez, 2000). Razón que suscito polémica en el seno de los Congresos Solvay desde 1927, tras los planteamientos filosóficos acerca de lo que se comprende por real en la visión del mundo y del conocimiento desde el auge de la física cuántica (Daboín et al, 2014). Bajo esta perspectiva, las distintas concepciones inherentes a la naturaleza epistémica y ontológica de la función de onda de Schrödinger en física cuántica por parte de los profesores, proporciona en la investigación una ventana para comprender sus implicaciones en el proceso de enseñanza-aprendizaje y consecuentemente las dificultades en la asimilación de los fundamentos físicos en los estudiantes.

La problemática que subyace en la interpretación del carácter epistemológico y ontológico en torno a la física cuántica aún sigue abierto como derivado de una inexistente univocidad estándar para descifrar lo real, es decir, en donde la actividad filosófica discurre en conocer “qué es ese misterioso algo que ondula en la materia” (Gómez,2004, p.118) y que estimula a la reflexión sobre el quehacer del profesor como facilitador del conocimiento y guía de jóvenes en la interpretación de cuerpos teóricos consolidados, en este caso de la mecánica cuántica. Para tal efecto, esta investigación parte del conocer las interpretaciones desde las concepciones epistemológicas y ontológicas que poseen los profesores universitarios acerca de la función de onda de Schrödinger en física cuántica en relación a los estilos de pensamiento concordantes en la perspectiva de agregar formación recibida y de ahí establecer inferencias a la incidencia en los sujetos en formación.

Metodología

La investigación se inscribió en el enfoque cualitativo, circunscrito al paradigma fenomenológico interpretativo que tiene como intención “comprender los significados de los actores con respecto a procesos sociales particulares. Describir e interpretar los saberes, los quehaceres, modos de hacer y de relacionarse entre sí y con los diferentes grupos”. (Delgado de Colmenares, F;2008, p.11).

Se consideró la unidad de estudio como “...el contexto, al ser, o entidad poseedores de la característica, evento, cualidad o variable, que se desea estudiar...” (Hurtado de Barrera, 2010, p.98) en consecuencia los informantes claves constituyeron seis (06) profesores universitarios de extendida trayectoria en física moderna, adscritos a tres (03) instituciones de reconocido prestigio en la Educación Superior en Venezuela, perteneciente a los estados Trujillo, Aragua y Zulia, respectivamente. La escogencia fue intencionada y tomada de manera que fueran dos (02) informantes claves por instituciones de cada estado, seleccionando a los de más años de experiencia en la enseñanza de la física cuántica o moderna a nivel superior, líneas de investigación de los informantes y su perfil formativo en áreas de epistemología e historia de las ciencias.

Se diseñó una guía de entrevista semiestructurada para centrar las interpelaciones durante las entrevistas, para efectuar un análisis exploratorio de una primera categorización y así puntualizar algunos patrones, identificar regularidades o inconsistencias asociadas a las ideas cuánticas y/o interpretaciones alusivas a las concepciones de los profesores sobre la función de onda de Schrödinger, sus estilos de pensamiento y el enfoque epistémico-ontológico, respectivamente. Todo ello utilizando el software Atlas ti.

En una segunda entrevista con mayor profundidad se exploraron nuevas descripciones a fin de establecer nuevas categorizaciones. Aplicando la técnica de saturación de la información se obtuvieron algunos hallazgos a partir de las familias de categorías y sub categorías, compactadas en redes de Networks. Para la validez de las conclusiones se empleó la triangulación, entendida como el método que contrasta y corrobora el fenómeno de estudio desde diferentes perspectivas teóricas en base a las categorías establecidas del análisis correspondiente.

Resultados y Discusión

Se presentan los resultados luego de un proceso de lectura y transcripción de las entrevistas para extraer los códigos primarios, las categorías, subcategorías, unidades de información y códigos principales del corpus de la investigación.

En esta publicación solo analizaremos las unidades de información asociadas a cada informante clave de acuerdo a cada una de las categorías encontradas.

En la Tabla 1 se muestran los elementos de análisis para el estudio de las concepciones de los profesores acerca de la función de onda de Schrödinger en física cuántica, se observa que las categorías determinadas de acuerdo al propósito de la investigación son las concepciones de los profesores acerca de la física moderna, los recursos didácticos para enseñarla, la interpretación del ente matemático, la predicción del ente matemático y la representación social.

Tabla 1. Elementos de análisis para el estudio de las concepciones de los profesores acerca de la función de onda de Schrödinger en física cuántica.

Categoría	Sub Categoría	Código Asociado
Concepciones de Física Moderna	Sistemas Cuánticos	Perspectiva Mecano- cuántica.
Recurso didáctico	Actividades de aprendizaje	Estrategia de enseñanza
Interpretación al ente Matemático	Interpretación experimental	Interpretación Ontológica
Predicción Matemática	Prueba Experimental	Epistemología Fenoménica
Representación Social	Perspectiva Cultural	Interpretación Sociocultural

A partir de las categorías establecidas se examina cada unidad de información evaluando las citas asociadas a la perspectiva mecano-cuántica de cada uno de ellos.

En la Tabla 2 se muestra la unidad de información asociado a la categoría Concepciones de Física Moderna, donde se presentan las citas asociadas a la perspectiva Mecano-Cuántica de cada uno de los informantes claves.

Tabla 2. Unidad de Información asociada a la Categoría Concepciones de Física Moderna.

N° de Línea	Informante Clave N°	Cita asociada al código Perspectiva Mecano-cuántica
6	1	...mi interpretación inicial fue apegada a una idealización experimental de ciertos fenómenos cuánticos y de ciertas experiencias mentales
3	2	...durante mis estudios de postgrado curse algunas asignaturas afines a la física moderna, tales como óptica y fundamentos de química las cuales abrieron un abanico de fenómenos que interprete en correspondencia a los planteamientos señalados en algunos libros de física moderna...
2	3	...teníamos unos excelentes textos para desarrollar problemas e interpretar los fenómenos de la mecánica cuántica.
1	4	Bueno, desde el punto de vista interpretativo reflexione sobre el sistema microscópico y me correspondió leer mucho para comprender estas situaciones...
5	5	...para entender la física cuántica deben olvidarse de las representaciones o ideas clásicas de la física, ya que esta nueva perspectiva es un nuevo paradigma con muchas aplicaciones en tecnología
5	6	Los entes físicos cuánticos son diferentes a los estudiados clásicamente. Pues los comportamientos, propiedades y las constantes inherentes son totalmente nuevos...

En él las diversas interpretaciones asumidas por los informantes claves en su primer contacto con las ideas cuánticas sugieren la necesidad de un abordaje filosófico de la física cuántica, pues les resulta extraña por las cualidades y propiedades de estos sistemas, aparte de que la rigurosidad matemática que envuelven los sistemas cuánticos complica su interpretación al contraste con la operatividad matemática para los sistemas clásicos del modelo

newtoniano y esto hace necesaria la asociación de analogías clásicas que perjudican una comprensión de la física moderna.

En la Tabla 3 se muestra la unidad de información asociado a la categoría Recurso Didáctico, donde se presentan las citas asociadas a la perspectiva Estrategias de Enseñanza de cada uno de los informantes claves.

Tabla 3. Unidad de Información asociada a la Categoría Recurso Didáctico.

N° de Línea	Informante Clave N°	Cita asociada al código Perspectiva Estrategia de Enseñanza
11	1	Considérese las estrategias didácticas como el empleo de diapositivas, simuladores, idealizaciones de mentales, mapas mentales y otros.
5	2	...para orientar en una idea novedosa sobre estos fenómenos de la física moderna es necesario emplear las TIC, simuladores y actividades generadoras del pensamiento reflexivo...
1	3	...a través de situaciones experimentales a pesar de lo complicado o sofisticado que son los equipos de laboratorio. Existen simuladores o símil didácticos para abordar ciertas Ideas.
1	4	Generalmente me apoyo en fenómenos de la experiencia cotidiana para inducir un estilo de pensamiento crítico, procuro para ello, escribir en el lenguaje matemático el fenómeno...mi estrategia es acompañarlo con una serie de actividades reflexivas, situaciones de experimentos mentales y algún experimento intuitivo...
5	5	...empleo discusiones grupales y paréntesis filosóficos sobre algunos detalles matemáticos para su apropiada comprensión. Todo ello, asociado al uso de estrategias didácticas y actividades reflexivas...
1	6	La mejor forma de aproximar al estudiante para una comprensión es procurando leer las filosofías asociadas a cada teoría, los experimentos y finalmente la operatividad de las ecuaciones.

Se evidencia que las estrategias empleados por los profesores corresponden al uso de las TIC como recurso audiovisual y elemento dinamizador en

algunos fenómenos de física cuántica, como los simuladores virtuales y videos animados. Asimismo, se abordan aspectos filosóficos de la física, experimentos

mentales intuitivos y discusiones grupales de acompañamiento crítico-reflexivo.

En la Tabla 4 se muestra la unidad de información asociado a la categoría Interpretación al ente matemático, donde se presentan las citas asociadas a la perspectiva Interpretación Ontológica de la Función de Onda en cada uno de los informantes claves.

Se agrupa la percepción de los informantes claves en tres grupos definidos, a saber: Grupo A: Los que conciben la función de onda como un ente físico que existe y aglomera una serie de valores asociados aun a pesar de la representación mental que se posea del mismo; Grupo B: Los que perciben la función de onda como un ente matemático que se ajusta al fenómeno experimental y constituye un modelo matemático que describe la realidad, sin ser en sí mismo un objeto físico real, por lo que su significado reside en el cuadrado de la función de onda; y, Grupo C: Los que conciben la función de onda como una superposición de estados que regulan su existencia al momento de una determinada medición experimental, justificando la dualidad onda-corpúsculo.

En la Tabla 5 se muestra la unidad de información asociado a la categoría Predicción Matemática, donde se presentan las citas asociadas a la perspectiva Epistemología Fenoménica de los sistemas cuánticos en cada uno de los informantes claves.

Se evidencia la necesidad de incorporar la extensión epistemológica en los sistemas cuánticos para abordar el vínculo entre la matemática y el fenómeno. Se observan códigos asociados a los aspectos filosóficos, interpretativos de las relaciones matemáticas y la plausibilidad de estos modelos para comprender las propiedades y cualidades de los entes cuánticos que correlacionan la prueba experimental como basamento científico que valida el modelo matemático y su cuantificación probabilística. Por otro

lado, las dificultades comprensivas para estos sistemas cuánticos reiteran en su abstracto formalismo matemático y los juicios conceptuales de analogías de la física clásica.

En la Tabla 6 se muestra la unidad de información asociado a la categoría Representación Social, donde se presentan las citas asociadas a la perspectiva Interpretación Sociocultural de los sistemas cuánticos en cada uno de los informantes claves.

Se observa una acentuada implicación en la dinámica social, por los avances y descubrimientos de la física moderna. Por un lado, los informantes reflejan su percepción de la incidencia por la divulgación comercial en temas de física cuántica a través de films y videojuegos, además de la manera superficial y errada como son exhibidas las interpretaciones asociadas al evento o fenómeno físico divulgado. Por otro lado, concuerdan con los señalamientos anteriores en cuanto al carácter artificial y publicitario en lo que respecta al abordaje de temas científicos, configurando en los individuos no especialistas confusión y visiones deformadas de la ciencia. Todo ello hace tejer en el imaginario sociocultural de los individuos concepciones desvirtuadas de los fenómenos físicos en su naturaleza cuántica y de ahí que las concepciones epistémicas y ontológicas fomentan concepciones alternativas como derivado de una carga de inundación de imágenes metaforizadas y distanciadas de lo formal.

Tabla 4. Unidad de Información asociada a la Categoría Interpretación al Ente Matemático.

N° de Línea	Informante Clave N°	Cita asociada al código Perspectiva Interpretación Ontológica de la Función de Onda
1 y 9	1	La función de onda de Schrödinger, lógicamente resume de alguna manera todas las concepciones nuevas que se le dio al comportamiento de un determinado sistema y las propiedades de estos elementos...La aplicación de la ecuación de Schrödinger para describir de manera aproximada un sistema sugiere sin duda alguna que existe como ente físico y que subyace bajo la representación de un objeto matemático para su operacionalización.
1	2	La función de onda de Schrödinger y su ecuación de onda de Schrödinger, desde mi perspectiva no constituye la forma más didáctica para la enseñanza de la física cuántica. Más sin embargo esto no quiere decir que sea un modelo bastante aproximado para tener explicación de la realidad
1	3	Por otro lado, la función de onda es un ente matemático y al elevarlo al cuadrado nos permite cuantificar la probabilidad de encontrar una partícula en determinado lugar...Para proporcionarle un sentido físico a la función de onda, debe elevarse al cuadrado, la función de onda como ente físico existe, pues permite identificarla y condensa todos los valores de energía, momento y otros.
1	4	Desde mi perspectiva la función de onda de Schrödinger constituye algo más que una función matemática, pues el experimento de difracción con electrones garantiza que algo llámese "función de onda" existe en la naturaleza, por ende, permite al experimentador medir los valores asociados a energía, momento, posición probabilística de la posición...para mí la función de onda de Schrödinger es real, puesto que permite describir las posibles características del sistema. Considero que un ente "físico" que no existe en el mundo material no puede describir algo real.
1	5	La función de onda de Schrödinger constituye desde mi perspectiva un ente físico que pudiera realmente existir, más sin embargo no implica que esta función sea un ente combinado poseedor de las cualidades ondulatorias-corpúsculares de algún ente físico que podamos imaginar. Ya que solo podemos imaginarnos los entes físicos en base a los experimentos y propiedades clásicas que ya hemos concebido.
1	6	El caso de la función de onda de Schrödinger es una cuestión asociada a unos comportamientos abstractos de los sistemas cuánticos, por lo que se recurre a la probabilidad para cuantificar los posibles resultados. Por lo que podría señalarse que la existencia de un ente como la función de onda no es algo que este determinado y por correspondencia no puede señalarse si existe o no.

Tabla 5. Unidad de Información asociada a la Categoría Predicción Matemática.

N° de Línea	Informante Clave N°	Cita asociada al código Epistemología Fenoménica
1	1	...la opción o perspectiva más adecuada es la de partir de conceptos filosóficos-epistemológicos y esta manera fundamentarlos en las expresiones matemáticas que han aproximado el comportamiento de un determinado sistema...
1	2	La rigurosidad de las ideas cuánticas no se la añade la matemática, sino las confirmaciones experimentales.
2	3	Cuando un fenómeno se deriva de la mecánica cuántica, la mecánica clásica no tiene pertinencia en la descripción de cierto fenómeno. No es que la mecánica cuántica sea abstracta para su descripción, es simplemente que es un micro mundo en que las propiedades y relaciones existentes entre los entes físicos obedecen a un carácter probabilístico.
1 y 13	4	Introducirse en el mundo microscópico requiere usar la imaginación. Además del lenguaje matemático, pues considero que la mecánica cuántica está casada con la matemática...abordo esa extensión epistemológica de la mecánica cuántica para que sea comprendida por los estudiantes es a través de la matemática y las diversas manipulaciones que puedan alterar el fenómeno al cambiar las condiciones.
1	5	Una vez que se concibe el resultado de una ecuación, la idea central para entrelazar la extensión epistemológica con el fenómeno es descomponer en el desarrollo matemático de una ecuación o modelo matemático para cierto fenómeno los supuestos teóricos, la filosofía inherente a los mismos y las inconsistencias o paradojas que se derivan de los mismos.
1	6	...las constantes surgentes en estos sistemas cuánticos, unidos a las teorías genuinas fundamentadas en los experimentos para explicar satisfactoriamente ciertos fenómenos constituyen las extensiones esenciales para que cualquier estudiante comprenda la naturaleza cuántica...

Tabla 6. Unidad de Información asociada a la Categoría Representación Social

N° de Línea	Informante Clave N°	Cita asociada al código Interpretación Sociocultural
1 y 9	1	...los nuevos descubrimientos que se han dado en el transcurso del tiempo, en el momento del cual dieron origen a lo que hoy conocemos como física moderna, podemos tener una idea en lo cotidiano en sus diversas tecnologías y en los films como Matrix, como una saga que encierra un contenido basado en la mecánica cuántica...Lógicamente que en el momento en el que se divulga una teoría o descubrimiento de la física, es con un fin comercial para atraer la mayor cantidad de público. Así pues, los fenómenos o hallazgos son tratados de manera muy superficial y por ende desvirtúa en muchos de los casos las interpretaciones epistemológicas y científicas que figuran en los estatus científicos, esto entorpece la apropiada interpretación en la colectividad social.
2	2	...desde niños se les presentan avances de la física moderna a través de los programas de televisión y de los videojuegos y diversas aplicaciones tecnológicas que se fundamentan en interacciones originarias de los fenómenos cuánticos. En todo caso el impacto más que por la vía de lo conceptual viene por la vía de lo experimental y tecnológico.
1	3	...ciertos temas de impacto en la actualidad como lo son el efecto hall cuántico, la magneto resistencia gigante y otros vinculados a la física cuántica resulta difícil por no llegar a precedentes de cursos niveladores o ambicionar asomarlos por la limitante del tiempo para un curso tan extenso.
1	4	Los estudiantes del curso de física moderna 1 y 2, han tenido la oportunidad de asistir a congresos de la Universidad Simón Bolívar y se han interesado en temas de física nuclear intercambiando ideas con físicos de primera línea en esos temas. Esto da una idea, de cómo los nuevos descubrimientos en física han tenido impacto por las variadas líneas de investigación...puedan alterar el fenómeno al cambiar las condiciones.
3	5	Ciertamente los medios de divulgación se fundamentan en posturas científicas que distorsionan la esencia de la física. Por ejemplo, la equivalencia masa energía de Einstein o la rapidez de ciertas partículas que viajan más rápido que la luz, las cuales se sustentan en ciertas matemáticas que aunque muy lógicas no son plausibles en la realidad.
1	6	Actualmente la sociedad está siendo saturada con información que apenas puede ser digerida por los especialistas. Por ello, muchas personas interpretan o conciben ideas erradas de ciertos fenómenos físicos

Conclusiones

De lo encontrado en las citas revisadas de los informantes claves, sus señalamientos permiten separar en tres (03) grupos las concepciones epistemológicas y ontológicas acerca de la función de onda de Schrödinger en física cuántica, a saber:

1. Aquellos profesores que conciben la función de onda como un ente físico que existe y aglomera una serie de valores asociados a la energía, momento, posición y otras. Evidenciando la adopción del enfoque realista aludido anteriormente, lógicamente esto asume de alguna manera las concepciones emergentes que se le dio al comportamiento de un determinado sistema y las propiedades de estos elementos. La aplicación de la ecuación de Schrödinger para describir de manera aproximada un sistema sugiere sin duda alguna que existe como ente físico y que subyace bajo la representación de un objeto matemático para su operacionalización.
2. Los profesores que conciben el objeto de estudio como un ente matemático que se ajusta al fenómeno experimental y constituye un modelo matemático que describe la realidad, sin ser en sí mismo un objeto físico real, por lo que su significado reside en el cuadrado de la función de onda. Esta es una posición justificada en la perspectiva instrumentalista operacional en la que los entes físicos y sus propiedades son captados como objetos computables que sin importar si existen en sí mismos o no, den cuenta de las consecuencias a una propensión matemática en contraste experimental.
3. Los profesores con concepciones antirrealistas para la función de onda, comprendida como una superposición de estados que regulan su descripción al momento de una determinada medición experimental. El caso de la función de

onda de Schrödinger es una cuestión asociada a unos comportamientos abstractos de los sistemas cuánticos, por lo que se recurre a la probabilidad para cuantificar los posibles resultados; por lo que podría señalarse que la existencia de un ente como la función de onda no es algo que este determinado y por correspondencia no puede señalarse si existe o no. Justificada en el antirrealismo de los sujetos en su intento por describir la realidad mediante una adecuación de cuerpo teórico y su contraste empírico instrumental apoyados en la dualidad onda-corpúsculo y el colapso de la función de onda.

Estas aseveraciones ponen al relieve la incidencia vinculante entre las concepciones ontológicas y epistemológicas de cada informante clave al converger en la adopción de ciertos: enfoques epistémicos, estilos de pensamiento herederos durante la formación académica y a la edificada por referencia a concepciones filosóficas del concepto "realismo científico". De allí que cada sujeto en referencia a la función de onda de Schrödinger presenta un pluralismo interpretativo, y una incidencia en la praxis educativa e investigativa sobre la enseñanza y aprendizaje de la física moderna.

Derivada de la concepción epistemológica adoptada por los profesores universitarios en la concepción interpretativa de la Función de Onda de Schrödinger, se establece algunas sugerencias para seguir examinando a profundidad esta línea de investigación a fin de explorar las implicaciones en el contexto cultural:

- Emplear otras técnicas y métodos de investigación cualitativa para caracterizar las visiones filosóficas del profesorado en ejercicio y en formación en su dimensión epistemológica y

ontológica, asociados a otros aspectos de la física moderna. Pues todo aporte de investigación en esa línea permitirá reconocer los obstáculos epistemológicos del sujeto educativo en perspectiva de un pensamiento científico que supere los paradigmas culturales herederos de una enseñanza acumulativa tradicional y esclerotizada en iniciales ideas científicas.

- Incorporar la extensión epistemológica en la enseñanza-aprendizaje de la física moderna, especialmente de la física cuántica. Todo ello deviene de una necesidad pública en los sujetos de la cultura científica, que interesados en temáticas científicas terminan sucumbiendo a misticismos o pseudo-interpretaciones científicas las cuales crean una falsa concepción científica del mundo, y muchas veces terminan creando y creyendo en narrativas ficticias de impertinencia científica.

- Analizar las implicaciones socioculturales emergidas de las primeras concepciones epistemológicas y ontológicas en relación a la función de onda de Schrödinger en contraposición a los objetos cuánticos de la mecánica matricial de Heisenberg, a fin de valorar el impacto cognoscitivo que estos paradigmas han acumulado en la sociedad y su ciudadanía, en el orden discursivo, literario, filosófico, tecnológico, otros.

Referencias

- Acurero G. 1998. Origen y Fin del Universo. Editorial Vadell Hermanos Editores. Maracaibo: Venezuela.
- Arraga M. 2002. Estilos de pensamiento, enfoques epistemológicos y estrategias de aprendizaje. *Encuentro Educativo*, 9(3).
- Bunge M. 1980. Epistemología. Editores Siglo xxi editores argentina, s.a, Buenos Aires, Argentina.
- Campanario J.M y Blandon, V.Z. 2001. Concepciones de los profesores nicaragüenses de física en el nivel de secundaria sobre la ciencia, su enseñanza y su aprendizaje. *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del profesorado*, 4(1), 6.
- Cassini A. 2016. El problema interpretativo de la mecánica cuántica. Interpretación minimal e interpretaciones totales. *Revista de Humanidades de Valparaíso*, (8), 9-42.
- Daboín F, Briceño B, Materán I, Terán J, y Gutiérrez G. 2014. Polémica de un Nuevo Paradigma: Einstein frente a Bohr y Born. *Revista Electrónica Quimera*, 2(1), 14-23.
- De la Torre A. C. (2013, October). Ontología Cuántica ¿Cómo es la materia según la física cuántica? In Congreso Nacional de Estudiantes y Graduados en Filosofía. La Filosofía en su contemporaneidad.
- Delgado de Colmenares F. 2008. Investigación Educativa: Manual Básico. Notas de clase Postgrado Universidad de Los Andes, Trujillo-Venezuela.
- Gómez J. L. S. 2000. Interpretación actual de la teoría cuántica: de los muchos universos a las historias consistentes. *Arbor*, 167(659-660), 489-507.
- Gómez Y. C. 2004. Epistemología, Ontología y Complementariedad en Niels Bohr. Tesis doctoral no publicada. Universidad Complutense de Madrid. España.

- González E y Roldán J. 2003. La aproximación causal y usual frente al problema interpretativo de la Teoría Cuántica. *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*,4(9), 155-174.
- Hacking I. 1983. *Representing and intervening*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Hurtado de Barrera, J. 2010. *El Proyecto de Investigación. Comprensión holística de la metodología y la investigación*. Caracas, Venezuela: Sypal.
- Krajewski W. 1997. Ideal objects as models in science. *International studies in the Philosophy of science*, 11(2): 185-190.
- Lucena A.J.D. 1996. Realismo y Teoría Cuántica. *Contrastes: Revista Internacional de Filosofía*, (1), 75-105.
- Moreno E. A. R. 2002. *Investigaciones: concepciones de práctica pedagógica*. Folios: revista de la Facultad de Humanidades, (16), 105.
- Padrón J. 1998a. *La estructura de los procesos de investigación*. Mimeo. Caracas: Decanato de Postgrado.
- Padrón J. 2000b. *La estructura de los procesos de investigación*. Ciencias sociales en internet. *Selecciones de la producción académica de la Web-Vol. 2*. Caracas
- Rivero N. 2000. *Enfoques epistemológicos y estilos de pensamiento* (Doctoral dissertation, Tesis Doctoral. Caracas: UNESR/LINEA-i).
- Rodríguez M.A, y Níaz M. 2004. *La teoría cinético molecular de los gases en libros de física: una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia/kinetic molecular theory of gases in physics textbooks: a history and philosophy of science perspective*. *Journal of Science Education*, 5(2), 68.
- Solbes M.J y Sinarcas G.V. 2009. *Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de la ciencia de los conceptos claves de la física cuántica*. Disponible on line: [Consultado: 2013, febrero, 27].

Autores

Frank Daboín, Lcdo en Educación mención Física y Matemática, Universidad de Los Andes-Venezuela, MSc. En Educación, Mención Enseñanza de la Física, UPEL-Venezuela. Doctorando en Cs de la Educación, Universidad de Los Andes-Venezuela. Profesor Asistente e investigador PEI-UULA y PEII-ONCTI. Secretario del Centro Regional de Investigación en Ciencias, su Enseñanza y Filosofía (CRINCEF). Línea de Investigación: Enseñanza de la Física.

Gladys Gutiérrez, Lcda en Educación mención Física y Matemática, MSc. En Física Aplicada, LUZ-Venezuela. Doctorando en Cs de la Educación, Universidad de Los Andes-Venezuela. Profesora Titular Jubilada e Investigadora PEI-UULA y PEII-ONCTI. Directora del Centro Regional de Investigación en Ciencias, su Enseñanza y Filosofía (CRINCEF). Línea de Investigación: Enseñanza de la Física.