



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ciencias Físicas

Escuela Académico Profesional de Física

**Marco conceptual epistemológico del principio de
incertidumbre de W. Heisenberg: aporte pedagógico**

MONOGRAFÍA

Para optar el Título Profesional de Licenciado en Física

AUTOR

Mario RÍOS QUISPE

ASESOR

Vittor Máximo FRANCISCO GARCÍA

Lima, Perú

2009



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Ríos, M. (2009). *Marco conceptual epistemológico del principio de incertidumbre de W. Heisenberg: aporte pedagógico*. Monografía para optar el título profesional de Licenciado en Física. Escuela Académico Profesional de Física, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú.

AGRADECIMIENTOS

La presente monografía técnica como uno de los requisitos para optar el título de Licenciado en Física no hubiera sido posible sin el apoyo del profesor M en C Wilder Chicana Nuncebay quien desde México me ha dado sabios consejos. También tengo que decir, que sin el apoyo del Profesor Vittor Francisco como asesor no hubiera sido posible plasmar este objetivo

Agradezco a mis padres Telésforo y Rosario Eusebia que supieron afrontar con responsabilidad y con amor el apoyo necesario para desarrollarme como profesional con sentido humano.

Finalmente estoy agradecido con todos mis compañeros de estudios sobre todo los cercanos a la promoción ochenta, personas trascendentes, ejemplo para las nuevas generaciones.

DEDICATORIA

A mi esposa Vilma, compañera y militante de los
ideales más humanos,

A mis hijos Mario Isaac y Mario Jacobo, lucasitas
que junta a otras, deseo, brillen en el universo.

INDICE

Marco Conceptual Epistemológico del Principio De Incertidumbre de Werner Heisenberg: Aporte Pedagógico

	pág
RESUMEN	05
INTRODUCCIÓN	06
CAPITULO I	
ASPECTOS GENERALES	
1.1 Lo Concepcional, la concepción científica del mundo.....	07
a. Ley de conservación de la cantidad de movimiento.....	08
b. El problema del éter	09
c. Muerte térmica del universo.....	10
d. Determinismo e indeterminismo como marco de interpretación en física.	10
CAPITULO II	
MARCO CONCEPTUAL	
2.1 Desarrollo conceptual de la estructura de la materia	12
2.2 Marco formal del principio de indeterminación	17
a. Relaciones de Heisenberg.....	19
b. ¿Es la mecánica cuántica, una teoría completa?.....	22
2.3 Marco Experimental.....	23
a. Deducción intuitiva de la relación energía tiempo	25
2.4 Marco de Interpretación	26
a. Determinismo y principio de indeterminación.....	26
CAPITULO III	
CONTRIBUCIONES A LA FILOSOFIA Y PEDAGOGÍA	
3.1 Consecuencias para la Filosofía.....	32
a. Determinismo y Física Cuántica.....	32
3.2 Consecuencias para la enseñanza de las ciencias.....	33
a. Aplicación del Enfoque conceptual en la enseñanza de la Física.....	33
b. Implicancias del enfoque conceptual.....	36
c. Implicancias Metodológica y Didácticas del Enfoque conceptual.....	37
CONCLUSIONES	40
BIBLIOGRAFIA	41

RESUMEN

En el capítulo I hacemos una descripción de problemas filosóficos de la física tales como la conservación de la cantidad de movimiento, la muerte térmica del universo, el éter y el campo, esto como una manera de evaluar que los aspectos críticos no son temas exclusivos de la física cuántica. Creemos que si la física tiene esa característica de ser filosófica (hasta cierto punto), es para dar consistencia a los conceptos y contribuir a la línea fenomenológica de la física.

En el segundo capítulo desarrollamos metodológicamente la estructura de la materia dentro de un enfoque de describir cómo se han ido construyendo los conceptos y las teorías, que en este caso también, se hace susceptible de ser interpretado y evaluado epistemológicamente. Esta parte constituye para la monografía el marco conceptual y el punto de vista histórico (en el tiempo) de la construcción de los conceptos que han llevado al principio de indeterminación.

Hacemos una descripción de la parte formal del principio de incertidumbre el primero que tiene que ver a como se deduce el principio de indeterminación a partir del formalismo de la física cuántica y que representaría una confirmación de lo que sucede en la experiencia. Dentro de este capítulo hacemos una explicación del principio de incertidumbre usando la categoría del determinismo, en otras palabras, es la aplicación del concepto del determinismo en los problemas de la física cuántica y que dicha aplicación supone derivar nuevas proposiciones que es lo que pretendo aportar en la monografía que presento.

En el capítulo III a diferencia de lo normalmente se supone en temas de filosofía de la ciencia como algo que no pasa de discusiones muchas veces sofisticados pero intrascendentes. El estudio de temas como el que propongo - cuando están desarrollados basado en la normatividad epistemológica - nos debe llevar a plantear ciertas propuestas, en mi caso considero que este tema por ejemplo ha servido para redefinir el determinismo o en todo caso reafirmar su dialéctica por el descubrimiento y conocimiento de nuevos hechos en la física. Y finalmente señalo que como metodología de trabajo de análisis histórico, filosófico y conceptual ha podido (en mi caso) plantear un enfoque pedagógico en la enseñanza llamado el Enfoque Conceptual en la Enseñanza de la Física y que el año 2006 mereciera uno de los premios UNESCO, por el aporte brindado a la innovación de la enseñanza de las ciencias. La propuesta que ha tenido como raíz originaria el estudio del principio de incertidumbre, tiene como fundamento que en el aprender y generar conocimiento en el aula supone trabajar los conceptos bajo un marco amplio que comprenda aspectos, históricos, sociales, filosóficos y científicos, y plantear que la ciencia no son los libros, es la actividad misma de búsqueda de nuevos hechos y formulaciones de nuevas teorías en un proceso sigzagueante, dificultoso. En ese sentido considero que la “elucubración” del tema que propongo se ha materializado en nuevas propuestas de enseñanza de las ciencias.

INTRODUCCIÓN

La presente monografía trata sobre el marco conceptual epistemológico del llamado principio de incertidumbre de Heisenberg, en la cual se pretende dilucidar los aspectos interpretativos de la física cuántica a través de la experiencia concreta, y de la filosofía de la ciencia; no solo como marco contextual global de las leyes de la física y específicamente de la física cuántica sino también con el cumplimiento de la rigurosidad de lo que se ha planteado como interpretación, lo cual obliga a recurrir al lenguaje epistemológico que es aquella disciplina que da cuenta de la científicidad de lo que proponemos en este trabajo y no resbale en planteamientos que a la larga va a dar lugar a negar los fundamentos de la ciencia.

En ese sentido hemos creído que para dar fundamento riguroso al principio de incertidumbre, se hace necesario una formulación matemática que es – reitero – la que da consistencia de lo que se establece, y a partir de ahí desarrollar una interpretación alternativa a la de Copenhague, basado en conceptos que muchas veces no son de uso exclusivo de la física como es la categoría conceptual del determinismo.

Considerar los temas de la física cuántica bajo un marco epistemológico no representa una cuestión especulativa, abierta, muy por el contrario, considera dar especificidad y marco fronterizo en lo que en general ha avanzado el conocimiento científico, una de ellas por ejemplo es que la interpretación que propongamos sea explicativa, vale decir, que nos permita establecer las causas y a partir de ahí poder derivar algunas consecuencias, que no necesariamente cae en la disciplina de donde partió, pero que trabajados en teoría y práctica podría representar un aporte como es el que planteo en esta investigación. El marco de interpretación, no es pues una simple elucubración filosófica, sino que al estar amparado bajo la epistemología se pretende dar rigurosidad a lo ensayado, no solo bajo una relación teoría experiencia que es lo más común, sino también por la rigurosidad de las proposiciones que al final deriven a un conocimiento más exacto de los fenómenos del micromundo.

En resumen el aporte que planteo no está en la parte experimental de la física ni siquiera en la parte teórica, aunque debemos reconocer que nos valemos de ella para comprender hechos que suceden del mismo proceso de experimentación y formalización que se da en la física como por ejemplo el dilema de si es una onda a una partícula que como se ha visto en la teoría y experimentación en física cuántica no hay solución o una explicación que no sea la interpretación que derive de todo lo construido.

CAPITULO I

ASPECTOS GENERALES

“La ciencia puede darse el lujo de obviar los conceptos de contenido cualitativo para limitarse en esencial del universo de relaciones cuantitativas, sin embargo esta puede ser su contradicción porque no puede lograrse crear la concreción real de aquello que la ciencia no puede recoger.”
(Anónimo)

1.1 Lo conceptual: la concepción científica del mundo

El Dr. Joel R. Primark¹ afirma que hay una fuerte relación entre cultura y cosmovisión, vale decir, entre nuestra práctica cotidiana y el modo en que concebimos el mundo.

Los actuales descubrimientos y desarrollos científicos tecnológicos están modificando nuestra forma de entender el mundo. Sin embargo, la ciencia no la concebimos de la misma manera y ahí viene la heterogeneidad de las interpretaciones que van creando controversia en la búsqueda casi intuitiva de la llamada verdad científica, generándose discusión y debate en la búsqueda de una mejor interpretación que ayude a transformar el mundo; denotando un carácter fiel o erróneo y de la cual dependerá de la posición que cada grupo asuma.

En ese sentido tenemos que decir que, la verdad en las ciencias naturales refleja leyes de la naturaleza, y estas leyes son diferentes de las leyes del desarrollo de la sociedad, por tanto no podemos trasladar irreflexivamente ciertas verdades de las ciencias físicas a la sociedad.

Sucede en la historia de la ciencia de verdades científicas que han sido escamoteadas y muchas veces combatidas y aplastadas por el grupo que se encontraba en el poder. Galileo Galilei (Sobre los sistemas máximos del mundo), Charles Darwin (sobre la descendencia del hombre de una especie homínido que evolucionó durante mucho tiempo), a Oparin (la vida como una forma de existencia de la materia, como el desarrollo de los cuerpos albuminoideos), Copérnico (con el sistema de mundos y los criterios de romper el antropocentrismo) y aspectos más sutiles tales como las leyes de indeterminación, entropía del universo, carácter universal del movimiento, entre otros.

Al respecto, claramente lo establece un gran filósofo: "el problema de la ciencia está en que los científicos cuyo punto de partida es materialista, son buenos mientras se mantienen en los linderos de la ciencia, pero cuando quieren ir a la filosofía u otros terrenos si no son materialistas desbarran en idealismo.", y por ende negarán o escamotearán la verdad. Todos los científicos antedichos han tenido que abrazar las ideas y concepciones de avanzada consciente o inconscientemente, eso le ha permitido avanzar por terrenos desconocidos y oscuros.

¹ Astrofísico y filósofo de la ciencia, coautor of “The View of the Center of the Universe: Discovering Our Extraordinary Place in the Universe”

En resumen diremos que la verdad científica es única pero son los hombres los que dan sentido de acercamiento a la verdad.

Siendo científicos que buscan conocer las profundidades de la naturaleza, ¿cuál es nuestra posición ante el impacto científico tecnológico en la sociedad? Joel Primark ha tratado de dar una solución incorporando la cosmología en la cultura. En otras palabras, de los avances científicos con la realidad social cultural que se vive.

El mérito de su criterio radica en que contrarresta la imagen post industrial de “no conectar la naturaleza más intrínseca de realidad con la experiencia humana natural”. Pero a su vez niega los conflictos de los grupos sociales, por ejemplo, la importancia de la ciencia en países como Alemania o Inglaterra por los informes tiene carácter masivo y eleva el PBI siendo fuerza productiva directa, mientras que para países del llamado "tercer mundo" no es así, por lo tanto hay un tácito conflicto, contradicciones entre la ciencia a desarrollar y la sociedad. En todo caso, si lo hubiera ¿A que intereses obedece? ¿Contribuye el desarrollo industrial generando empleo? ¿Es fuerza productiva directa?

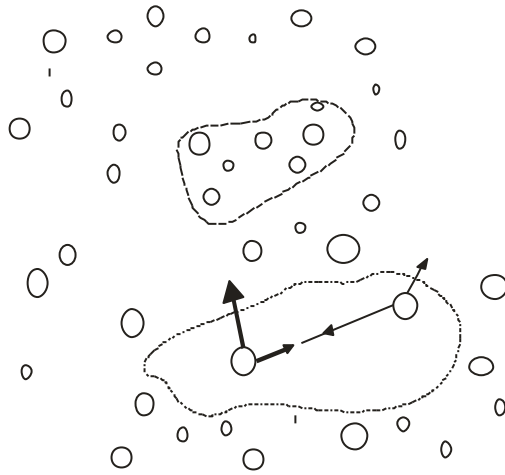
En la interpretación están los intereses de los grupos sociales que se expresa bajo sus enfoques, y si bien en los enfoques hay especulación, en esta especulación están los deseos y objetivos de cada grupo social. Cuando en 1900 en Alemania se extendió mucho la idea de la “acausalidad” se asumió en el fondo un mundo en completo caos, sin orden, al libre albedrío, sin perspectiva. Era pues el sentir de un grupo social y que seguramente explicaría los conceptos de indeterminismo científico que se plantearon por aquella época.

El otro problema es, separar el mundo físico del mundo del significado humano como refiere Primark, creo que en la actualidad hay que unificar estos dos aspectos porque a fin de cuentas cada descubrimiento, cada camino dificultoso en la ciencia tiene su contexto social y lo define tanto en su avance como en su retroceso; y dado el impacto de las transformaciones económicas y sociales en la ciencia y la tecnología es necesario hacer un solo conjunto de opiniones con el "riesgo" que nos lleve a caminos bifurcados.

Al respecto señalamos algunos ejemplos de lo importante y atento que hay que ser con los marcos conceptuales:

a. Cantidad de movimiento del universo

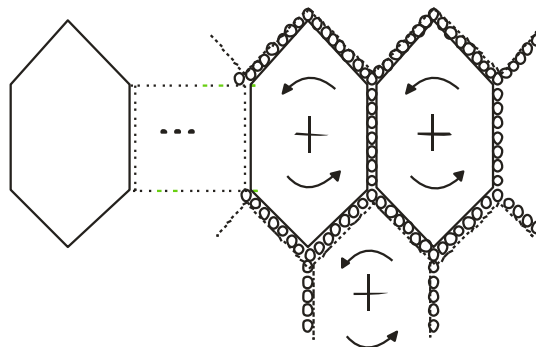
Refiere que la cantidad de movimiento del universo es constante toda vez que sobre ella (todo el universo) no interactúa ningún cuerpo por tanto la fuerza aplicada a ella es cero. Este fue el planteamiento de Descartes y que Engels cuestiona, afirmando de lo peligroso que es extrapolar leyes como LA LEY DE CONSERVACION DE LA CANTIDAD DE MOVIMIENTO, Engels dice que con una magnitud finita no se puede medir una magnitud infinita.



b. El éter

Es un ejemplo de cómo evoluciona el pensamiento que después deviene en pensamiento científico, que se expresa en el nacimiento de uno u otro modelo, este fue el caso del éter, pues en alguna medida los científicos razonaban de la siguiente manera: si las ondas sonoras necesitan de un medio como el aire para poder propagarse, en esa misma línea, las ondas electromagnéticas necesitan de un medio como el “éter” conocido también como el medio propagador y sobre el cual se han escrito ingeniosas “teorías” este es el caso del modelo del éter según J.C. Maxwell: “moléculas de éter, cuya rotación engendra magnetismo, las bolitas intersticiales representan electricidad, la circulación de estas bolitas constituye una corriente cuya tensión está determinada por la presión que las bolitas de electricidad se ejercen mutuamente ...”

Ver gráfico:



Empero, cada modelo propuesto expresaba más puntos oscuros generando variantes cada vez más imaginativas, pero que no reflejaban la realidad concreta como arrastre del éter, éter inmóvil. Michelson, conocido por el famoso experimento que lleva su nombre, pretendió ubicar al huidizo éter y no lo consiguió, y en cada conferencia que daba sobre el tema siempre pedía disculpas por no ubicarlo. Ningún experimento reveló algún atisbo de su existencia. Esto nos haría suponer en una simple evolución de pensamiento pero lo que es claro es que el proceso científico puede ir cargado de dosis de buena suerte, ideas

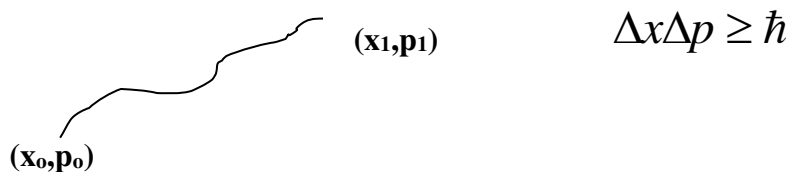
preconcebidas², prejuicios etc., que nos distancian de la realidad. Una vez más el papel de la concepción, de la postura filosófica, va a ser clave para hacer avanzar la ciencia en su conjunto. Einstein alguna vez dijo en torno a este problema: “...el espacio físico y el éter son solo términos diferentes para referirse a una misma cosa”³.

c. Muerte térmica del universo

Conduce al concepto de entropía que no es sino la característica de irreversibilidad de los procesos en nuestro caso, las transformaciones energéticas que tienden a equilibrarse demostrando de aquí la incapacidad de una nueva transformación (estado de equilibrio térmico) como vemos tras ese determinismo se escondía un fatalismo intencionado y en la cual científicos como Clausius . W, Thomsom afirmaban la inevitable “muerte térmica del Universo”. Absolutizar esta idea implica negar las limitaciones que tiene las leyes en la física.

d. Determinismo e indeterminismo como marco de interpretación en física

Uno de los problemas fundamentales que afronta la ciencia es en lo referente al determinismo e indeterminismo. La primera, entendida como las circunstancias mismas con la cual es posible, al menos en principio, conocer el futuro de un evento, la segunda como el azar el libre albedrío, donde es difícil conocer el devenir. En el caso de las otras disciplinas, como las sociales, este ha sido un punto de conflicto entre estas posiciones filosóficas, algunos científicos han planteado ya un determinismo pero no pasivo sino aquella que se adhiere a la realidad concreta y que no implique tampoco fatalismo que es la posición extrema del determinismo. Esto no es negar la volición humana (ejem. Las interpretaciones) sino entenderla en su sentido histórico mas no resignándose pasivamente.



El determinismo como concepción filosófica fue la inspiración y el marco conceptual de la teoría clásica de Isaac Newton, desde Demócrito hasta los materialistas del siglo XVIII, entre los que destacamos Francis Bacon, Galileo, Descartes, Spinoza y Laplace, planteando la idea general de la conexión entre los fenómenos de causa y efecto. Por ejemplo, en la mecánica de Newton dada la posición del cuerpo y la velocidad en un instante inicial, podemos conocer el futuro de dicho cuerpo; esta afirmación dada de manera simple puede conducirnos a la absolutización del papel de la causalidad y caer en el hecho de decir que todo está condicionado, predeterminado, desembocando así en un mecanicismo abstracto y en una posición filosófica fatalista. Siguiendo así el curso del mecanicismo abstracto y del indesligable determinismo, se presenta un

² Wilder Chicana, ¿Y donde está el método?, IPN – México, www.grupogodofredogarcia.blogspot.com

³ Biografía de Einstein, Banesh Hoffman.

nuevo reto, el de interpretar⁴ la teoría cinético molecular y la ley de entropía, concretamente en un gas, se puede notar un carácter determinista localmente (molécula) y globalmente un caos molecular (todas las moléculas del gas) que se manifiesta macroscópicamente en la presión, el volumen y la temperatura. El objetivo de la teoría molecular es encontrar la relación entre el mundo microscópico y macroscópico, deduciendo de aquí su inevitable naturaleza estadística, entre ellos el de promediar los valores de la velocidad de cada partícula partiendo de la hipótesis de la equiprobabilidad.

⁴ Heisenberg en una compilación de temas cuyo título es, “Encuentros y conversaciones con Einstein y otros ensayos”, plantea tres direcciones del trabajo en física teórica:

1. Fenomenológica.- Desarrollo del experimento con su respectiva formulación matemática
2. Matemática.- Formalismo cuidadosamente elaborado con rigor que la condición plantea.
3. Conceptual o Filosófica.- Esta última es la que aspira ante todo esclareciendo los conceptos con los que en último término hay que describir los procesos naturales.

CAPITULO II

MARCO CONCEPTUAL

"Los cuerpos sólidos solo aparentan ser densos; no solo los gases y los líquidos. Sino también los cuerpos sólidos se componen de minúsculas partículas indivisibles, el átomo entre los diversos cuerpos, los átomos son distintos como distintos sus propiedades.

Poema de Demócrito

2.1 Desarrollo conceptual de la estructura de la materia

La eterna lucha entre lo nuevo y lo viejo expresada en los distintos niveles de la realidad objetiva, también se ve plasmada, fotografiada, en las ideas, los enfoques y en la búsqueda de lo primario, del "ladrillo" con la cual construir el universo. Así tenemos los primeros intentos de explicar la composición de las cosas que hay a nuestro alrededor; podemos mencionar a Aristóteles que sobre la base de su rigurosa lógica argumentaba que no existía el movimiento y a su vez consideraba la división infinita de los cuerpos⁵. En contraposición a ello, tenemos a Demócrito, quien nos habla de partículas rígidas similares a las de un cuerpo cualquiera. La posición de este último y Aristóteles eran irreconciliables, por el hecho de que uno se sustentaba en la materia y el otro en el espíritu, respectivamente, nos demuestra esa lucha entre dos concepciones contrapuestas, en la cual solo una intenta reflejar la realidad objetiva - lucha entre lo nuevo y lo viejo - y donde finalmente prevalece lo nuevo expresado en que por primera vez es acuñado la palabra "átomo"⁶ que significa indivisible.

Mientras tanto, la cuestión de fondo seguía en la interrogante ¿de qué cosa están constituidas las cosas? El planteamiento de Demócrito quedó olvidado hasta que John Dalton⁷ diera las primeras hipótesis de la constitución de los cuerpos haciéndolo de una manera sistemática, permitiendo así un análisis y un proceso de investigación riguroso; si bien es cierto, que en la actualidad ya no utilizamos estas hipótesis, es bueno mencionarla para que sea vea ese desarrollo histórico científico a la par con las nuevas ideas que se van abriendo paso a paso y que van reflejando la realidad objetiva.

Podríamos decir que con la hipótesis de los átomos es que se comienza a tener un cuerpo de principios, principios que se iban a aplicar en diferentes ramas de las ciencias y con mucha mayor intensidad en la física y la química, como por ejemplo podríamos citar los postulados sobre el átomo, electroquímica, estudios ligeros sobre cristales, y si cabe

⁵ No hablamos de materia porque podemos caer en confusión, la materia es una categoría filosófica para designar la realidad objetiva, que es todo aquello que existe fuera de nuestra conciencia y nuestra voluntad.

⁶ Realmente los átomos no pasaron a formar parte del pensamiento científico hasta la segunda mitad del siglo XVIII tras la investigación del químico francés A. Lavoisier.

⁷ He escogido la palabra átomo para denominar a estas últimas partículas molécula o cualquier otro término diminutivo, por lo que encuentro mucho más expresivo, incluye en si misma la noción de lo indivisible del que carecen los demás términos..." J. Dalton A New System of Chemical Philosophy.

extenderse mas hablaríamos de las monadas de Leibniz, que era como el mismo decía, los átomos del alma.

Lo que sigue en el estudio de los "ladrillos" del universo corresponde a etapas de experimentación y formulación de modelos de constitución atómica, el problema de fondo, el conceptual, viene cuando a medida que se va experimentando, no hay esos famosos "ladrillos", que volvemos (pareciera) la infinitud de Aristóteles, veamos:

J.J. Thompson, en base a los principios enunciados por Dalton, comienza un estudio concienzudo de los gases enrarecidos⁸. Se tenía anteriormente la idea (y creo que hasta ahora) considerar o hablar de buenos y malos conductores de electricidad, los famosos tubos de descarga (tipo fluorescente) si bien a condiciones normales no era conductor, resultaba que en un vacío apreciable y a bajas presiones resultaba conductor aplicando un voltaje. Este fenómeno permitió sugerir la existencia de electrones que eran esas partículas que se desplazaban y que eran arrancadas de cierta configuración cuando estaba a estado "normal".

En base a esta experiencia concreta J.J. Thompson se atreve a formular un modelo - mal llamado budín de pasas - en la cual los electrones⁹ se encuentran diseminados por toda la esfera; y donde suponemos hay interacciones que se van equilibrando y que le permite mantener esta estructura, viene ahora la pregunta ¿Thompson, tuvo todo el derecho en la formulación del modelo de manera correcta? Si, siempre que haya evidencia es justificable ya que esta aún no reflejando la realidad, el fenómeno; es un paso hacia el conocimiento más profundo, así que aquella apreciación ligera de que ese modelo no servía carece de fundamento; en todo caso, tendríamos que ceñirnos en función a su tiempo a su época. Como consecuencia de esto, tendríamos que decir que no es ningún obstáculo para el avance de la ciencia, es un obstáculo si ante nuevas evidencias nosotros todavía persistimos en el modelo anterior. Vemos una vez más, que se presenta la lucha entre lo nuevo y lo viejo.

El siguiente modelo que se sugirió va asociado al bombardeo de partículas al átomo en cuestión, las distintas reacciones que se provocaban obligó a asumir una posición un poco más escéptica que el anterior modelo, induciendo - de la experiencia - que en el interior del átomo había una especie de núcleo, similar al sistema planetario, donde los planetas (electrones) giran alrededor del sol (núcleo). En cuanto a las consideraciones físicas, había que tener el más mínimo cuidado, por ejemplo se pensaba en que la partícula bombardearte debe ser lo suficientemente mayor que el electrón (átomo de helio doblemente ionizado) para poder registrar una alteración apreciable; la visión clásica de colisiones pudo ser aplicada con relativa objetividad, para tal efecto, lo que consiguió Rutherford¹⁰ son desviaciones, rebotes que permitía sugerir la presencia de núcleos. Aunque no queda solamente en haberlo descubierto y punto; si no sobre la base de esta

⁸ El gas al cual vamos a referir, se dice que su estado es de plasma y decimos que está en esa situación cuando hay una mezcla de partículas cargadas eléctricamente provocándose un estado ionizado permanente donde se conduce los electrones.

⁹ Cabe decir que Thompson JJ consideró los electrones como corpúsculos, sin embargo Thompson hijo descubrió que los electrones tienen naturaleza ondulatoria (difracción de electrones) los dos recibieron el premio Nobel por sus descubrimientos.

¹⁰ Mostró experimentalmente que la masa fundamental del átomo está concentrado en el interior de este último, en un volumen relativamente pequeño del orden de 10^{-13} cm

interacción, se pudo describir la presencia de ciertos tipos de radiación que emitía el núcleo, así se descubrió la radiactividad¹¹ α , β y γ . Los rayos α son núcleos de helio, los rayos β electrones y los rayos γ no son partículas, sino radiaciones muy intensas que no son desviadas por ninguna polaridad.

Creemos que la profundización en el estudio de la radiactividad sobre la base del descubrimiento del núcleo trajo nueva luz sobre la "estructura de la materia" y permitió la formulación del siguiente modelo de átomo que se llamó modelo atómico de Rutherford, la variante aquí era el núcleo, en la cual alrededor estaban los electrones en órbitas planetarias; el modelo también fue llamado planetario, como se sugería repetidas veces.

Y quizá aquí radique el punto crítico, el talón de Aquiles, de partir dentro de una concepción mecánica clásica, la teoría de colisiones utilizada en la elaboración del modelo no deja la menor duda. Sin embargo tenía su utilidad dentro del espectro formado; el problema se manifestó con mayor intensidad cuando, con el razonamiento mecánico clásico se llega a la catastrófica conclusión que el electrón al acelerar (girar alrededor del núcleo) tendría que radiar energía y por tanto colapsar, que es precisamente lo que no se notaba - el átomo seguía tan estable como antes - ya que de ser así no habría átomos ni cuerpos ni mucho menos nosotros, la aventura de nuestro pensamiento - como dijera Einstein - nos lleva a demostrar que dicho modelo no encuadra con la realidad objetiva, con la naturaleza.

Lo que viene a continuación es un cambio radical, que ocurre solamente cuando los cambios son profundos, cuando las viejas ideas son barridas desde sus cimientos a veces en forma casual, pero necesaria, debido al avance de los conocimientos, de la historia, es lo que pasó con la llamada "estructura de la materia", su aparente división resultó siendo falsa, se creía que una piedra al molerlo ininterrumpidamente obteníamos polvo y de ese polvo aún más triturado conseguíamos átomos. La visión cuantitativa no resistía el menor análisis porque de ser así seguiríamos en el marco del pensamiento mecánico-clásico y volveríamos a un callejón sin salida. En todo caso quería decir que al "dividirse" aún más se ha dado un salto cualitativo a otras formas de existencia de la materia, que antes no habíamos percibido, y que obligaba a un conocimiento y construcción de una nueva teoría que no es como algunos piensan que desechan al anterior, sino que es la que enriquece al conocimiento general de la física y la desarrolla; y aquí es donde podemos citar a Max Planck que tuvo la osadía de plantear una "hipótesis de trabajo" que después se afianzó debido a la contundencia de los hechos. La hipótesis dada por Planck se presenta ante la explicación de la radiación (emisión y absorción) de cuerpo negro. Planck nos habla de que la luz no se emite de manera continua, sino por corpúsculos o paquetes de energía que recibieron la denominación de quanta (plural de quantum) esta hipótesis encajaba bien en la observación experimental; obviamente Planck que mantenía las taras del pensamiento mecánico-clásico, creía que lo que había planteado era un artificio matemático y que tarde o temprano tenía que ser superado, empero lo planteado resultó ser esclarecedor. ¿Cómo tuvo esa intuición? Diríamos que fue debido al trabajo incesante y al desarrollo científico de la persona. Las evidencias experimentales que se sucedían, no hicieron sino corroborar la hipótesis. Como ejemplo, podemos citar el efecto fotoeléctrico que se interpretó sobre

¹¹ Entendemos por radiactividad aquella magnitud que es característica para todos los elementos toda vez que se trata de una transformación ininterrumpida de unos elementos en otros emitiendo energía y por tanto variando en el tiempo, el criterio de considerar elementos radiactivos y no radiactivos también deja de tener validez al igual que los elementos conductores y no conductores.

la base de la naturaleza discreta de la luz por parte de Einstein. Esta experiencia partía del hecho que al incidir la luz sobre una placa metálica, ésta emitía electrones, llamados posteriormente fotoelectrones. Esto implicaba considerar que la luz, es de manera discreta para así tratarla desde el punto de vista de la teoría de las colisiones. ¿Cómo se expresaba esta ley? De manera simple y profunda: $E = h\nu$, donde h es la constante de Planck, ν es la frecuencia y E la energía. Al haber frecuencias específicas, se daban, por consiguiente, energías de carácter discreto.

Como vemos, las cosas se van poniendo complicadas; primero no encontramos los ladrillos de el universo, segundo, un modelo sucede a otro, tercero, se van encontrando nuevas evidencias, pero también se van presentando nuevos problemas. Sabemos nosotros, que cuando logramos tener una teoría científica bien compacta y extensiva, aún presentándose raudamente evidencias experimentales, la teoría permite controlarlo esto no sucedía con estudio de la "estructura de la materia", cada vez que se presentaba una evidencia, buscábamos acomodarlo en un esquema físico para "salirnos" del problema, empero ellos seguían dándose, aunque ya percibimos haber dado un salto grande, el objetivo era, ahora, construir una teoría científica que tenga un alcance global; por lo tanto los modelos usuales, ya no tenía sentido seguir usándolo; Teníamos que irnos a los principios y a partir de ahí construir postulados; Es así que Bohr, el gran hombre que fue generado por un gran problema, planteó una serie de postulados - extendiendo así la idea de Max Planck - sobre los procesos que se daban en el átomo y precisamente en el átomo de hidrógeno, entre ellos que el átomo posee un conjunto discretos de estados¹² estacionarios (en cada estado no se radia energía), y también que la emisión y absorción de radiación tiene lugar cuando el electrón pasa de un nivel de energía al otro; Con estos postulados permitió comprobar lo que ya el astrónomo Balmer había descubierto empíricamente a través de las observaciones de determinadas estrellas (y que constituyó el primer triunfo de la teoría) esbozando una fórmula que relacionaba las longitudes de onda con los niveles de energía. la teoría de Bohr - si bien es cierto - funcionaba bien para el átomo de hidrógeno, si teníamos átomos con mayor número de electrones (polielectrones), utilizar la teoría resultaba complicado y no se ajustaba al planteamiento original, en todo caso, lo que desarrolló Bohr podríamos considerarlo como algo auxiliar, hasta que se desarrollase el formalismo de la nueva mecánica. El modelo de Bohr se le puede considerar un híbrido ya que introduce las ideas clásicas a los sistemas cuánticos, como un paso a la teoría científica más compacta y objetiva.

El formalismo cuántico fue desarrollado por varios científicos, entre ellos Max Born, Pascual Jordan, Heisenberg, Schrödinger y Von Neumann, este último con un espíritu más axiomático. Él decía: si Newton utilizó los elementos de Euclides que fueron la base de la filosofía natural, y esta teoría resultó ser compacta, gracias precisamente a la base lógico-deductiva que le dio Euclides, entonces la moderna teoría cuántica, también necesita de un formalismo matemático bastante riguroso, como un intento de enfrentar ciertas paradojas. Dicha presunción (de Von Neumann) se materializó en su famosa obra intitulada "Foundation of Quantum". La metodología adoptada por Von Neumann, con relación a Newton parecía llevarnos al éxito y a cerrar definitivamente toda esta andanada de paradojas y problemas de fondo, sin embargo esta se seguía manifestando, el mismo Von Neumann que tomó posición por el formalismo, al final acabó tratando problemas de

¹² Estado.- Movimiento inalterado por tantas condiciones o datos como sea posible teóricamente sin que se interfieran o se contradigan mutuamente (Dirac, Quantum Mechanic.)

epistemología de formalismo y conciencia, de donde queda demostrado que nadie escapa a la concepción del mundo, porque esta es la que guía las acciones.

En 1986, Cramer¹³ preocupado por la metodología de la mecánica cuántica¹⁴ nos advierte que aplicar incorrectamente las leyes puede conducir a una serie de paradojas y contrasentidos. Mucho se ha discutido y discute sobre este problema. Dirac dice: "si la teoría funciona, que más podemos pedir". Este trasnochado pragmatismo que lastimosamente ha durado hasta nuestros días repercute, quiérase o no, en la formación científica¹⁵. Hoy lo podemos ver en la enseñanza y desarrollo de nuevos conceptos. Todavía se parte de criterios rígidos unilaterales; el problema es quizá que no ponemos atención a las leyes generales de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento, que redunde en la metodología.

Volviendo al desarrollo histórico, el físico francés Louis de Broglie de acuerdo a las consideraciones que se tenía de la luz, manifestó que la luz tenía doble naturaleza (onda y partícula), extendió el criterio, a todas las partículas a nivel cuántico, aunque erróneamente, por eso creía en la llamado onda-piloto. No se asumía que al dar un salto cualitativo (el conocimiento de la materia), las partículas a nivel cuántico diferían de las imágenes mecánico-clásicas, que se manifestará una u otra propiedad (onda o partícula) no desdecía de su esencia. David Bohm nos ha dicho "LAS IMAGENES CORPUSCULARES Y ONDULATORIAS, SON CONSIDERADAS COMO REPRESENTACIONES PARCIALES DE LAS MATEMATICAS; METAFORICAMENTE SON COMO MULETAS DEL CONOCIMIENTO".

Poco tiempo después, Thompson hijo, observa la difracción de electrones, comprobando su manifestación ondulatoria y acentuándose mas esa interrogante, ¿Las "micropartículas son Ondas o son Partículas? Bohr ya nos hablaba del "Principio de complementariedad" tratando de escapar del atolladero, este esquema filosófico también se derrumbó¹⁶.

El físico Austriaco Erwin Schrödinger, tomando mas, el aspecto formal antes que el fenomenológico, aplica el formalismo matemático de las ondas al estudio de las "micro partículas" llamado posteriormente "ECUACION DE SCHRÖDINGER", este formalismo pretendía gobernar el comportamiento dinámico de las partículas a nivel cuántico, y en este caso la función de onda - que se deducía de la ecuación - definía el estado físico de la partícula; Aunque la función de onda en si, no tenía significado físico, empero su cuadrado si tenía significado, dado por el profesor Max Born (llamado también interpretación probabilista) que mas o menos reza así: "probabilidad de encontrar una partícula en tal o cual región en cierto instante" Si la ecuación de onda matemáticamente es un formalismo de la mecánica clásica , ¿Como es que estando bajo otra forma de existencia de la materia, utilizamos el formalismo de la mecánica clásica, del que tanto hemos criticado? .- Tal vez

¹³ Cramer : Transactional and Interpretation 1986

¹⁴ En 1924 Born acuña por primera vez la palabra mecánica cuántica.

¹⁵ Se ha podido registrar tres direcciones del conocimiento de la mecánica cuántica; el fenomenológico intenta relacionar resultados observacionales con el formalismo, lo matemático que busca o pretende axiomatizar, y el filosófica que aspira a aclarar los conceptos.

¹⁶ Tipler, manifiesta que los aspectos de onda y partícula se complementan entre si. Se necesitan ambas pero no pueden observarse al mismo tiempo.

el criterio de probabilidad, aleatoriedad nos salve de este problema, no se está aplicando a rajatabla el formalismo de la mecánica clásica. Heisenberg planteó la mecánica matricial, basándose en la presuposición de que la física solo debe utilizar aquellas magnitudes que son físicamente observables (este concepto es muy usado por la escuela de Copenhague que desemboca en idealismo porque a la hora de generalizar plantea que “lo que no es observado no existe”) y dejar aquellas que no se ciñen.

Y es Heisenberg el que haya complicado el panorama con la famosa relación que posteriormente adquirió el carácter de principio llamado "PRINCIPIO DE INDETERMINACIÓN DE HEISENBERG" que dice: “Es imposible medir con precisión ilimitada dos operadores cuánticos conjugados que no conmutan”. Se ha afirmado que este principio expresa la imposibilidad del conocimiento entre lo clásico y lo nuevo, lo cuántico; de hasta donde podemos “ver” con los ojos de la mecánica clásica, la llamada alteración del estado de la partícula es no reconocer que a este nivel - sobre todo - se da la aleatoriedad y que la alteración del "observador" es un factor condicionante.

Actualmente, este es el punto de discusión entre las diferentes interpretaciones de la mecánica cuántica y concretamente es la lucha entre el idealismo y el materialismo, el idealismo comandado por la escuela de Copenhague y el materialismo comandado por los que aspiramos a la objetividad de la ciencia, los primeros dicen que todo es un caos que es imposible conocer mas allá de ciertos límites; los segundos - del que somos cabales partidarios- planteamos que la naturaleza está gobernada por la necesidad y casualidad, que la naturaleza es inagotable y por tanto inagotable nuestro conocimiento, toda vez que refleja la realidad objetiva, los primeros hablan de un indeterminismo de la mecánica cuántica, los materialistas - nosotros - planteamos que el determinismo ha dado un salto, como consecuencia de haber profundizado el estudio de la naturaleza. Von Neumann nos habla del precio que hay que pagar, cuando se refiere a abandonar la “causalidad clásica”; hay lamentos y frustraciones -como diríamos nosotros- cuando no se admite que el determinismo ha dado un salto.

2.2 Marco formal del Principio de Indeterminación

Para deducir la relación de indeterminación vamos a partir de los postulados que a continuación se detalla:

Postulado I

Todo estado cuántico está representado por un vector normal, llamado vector de estado, en un espacio de Hilbert complejo y separable. Fijada una base de Hilbert se puede representar el estado de la siguientes forma:

$$|\psi\rangle = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

Forma **ket**:

Forma **bra**: $\langle\psi| = (a_1^* \ a_2^* \ \dots)$ (Donde el asterisco significa conjugado).

El estado cuántico **normalizado** debe cumplir: $\|\psi\|^2 = \langle\psi|\psi\rangle = 1$.

Postulado II

Los observables de un sistema están representados por operadores lineales hermíticos (autoadjuntos). El conjunto de autovalores (valores propios) del observable A recibe el nombre de **espectro** y sus autovectores (vectores propios) definen una base en el espacio de Hilbert.

Los autovalores se encuentran igualando a cero el siguiente determinante:
 $|A - \lambda I| = 0$

Y los autovectores resolviendo el siguiente sistema de n ecuaciones:
 $A \cdot a_i = \lambda_i \cdot a_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, n$

Postulado III

Cuando un sistema está en el estado $|\psi\rangle$, la medida de un observable A dará como resultado el valor propio a , con una probabilidad $P_{A|\psi} = |\langle a|\psi\rangle|^2$, donde $|a\rangle$ es el vector propio que representa el observable A.

Como consecuencia de este postulado el valor esperado será:
 $\langle A \rangle_{|\psi\rangle} = \sum_i \lambda_i |\langle a_i|\psi\rangle|^2 = \langle\psi|A|\psi\rangle$

Llamaremos dispersión o **indeterminación** a la raíz cuadrada de la varianza.

Ésta se calcula así: $\Delta_{|\psi\rangle} A = \sqrt{\langle\psi|A^2|\psi\rangle - \langle\psi|A|\psi\rangle^2}$

Postulado IV

Para cualquier estado $|\psi\rangle$ sobre el cual se hace una medida de A que filtra al estado $|a_i\rangle$, pasa a encontrarse precisamente en ese estado $|a_i\rangle$, si no se ha destruido durante el proceso.

Éste es el postulado más conflictivo de la mecánica cuántica ya que supone el colapso instantáneo de nuestro conocimiento sobre el sistema al hacer una medida filtrante.

Postulado V

La evolución temporal de un sistema se rige por la ecuación de Schrödinger:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = \mathcal{H} |\psi(t)\rangle$$

donde H es el operador de Hamilton o **hamiltoniano** del sistema, que corresponde a la energía del sistema.

Postulado VI

Los operadores de posición y momento satisfacen las siguientes reglas de conmutación:

$$[X_i, X_j] = 0 \quad [P_i, P_j] = 0 \quad [X_i, P_j] = i\hbar\delta_{ij}\mathbb{I} \dots (i)$$

El término incertidumbre difiere de indeterminación, primero porque el primero es cualitativo, mientras que el segundo es cuantitativo por tanto factible para nuestros propósitos. Por otro lado el término principio implica una base de la cual se parte a un estudio más profundo y de la cual comienza un desarrollo hacia una nueva teoría. En términos rigurosos hablaríamos de Principio de Indeterminación para precisamente encontrar implicaciones cuantitativas concretamente de la medición

a. Relaciones de Heisenberg

De la relación (i), sabemos que $[X_i, P_j] = i\hbar\delta_{ij}$ (Postulado VI)

Evidentemente: $\|(X_j + i\lambda P_j)\psi\| \geq 0 \therefore \forall \lambda$. Esto se aplica del Postulado II

Por tanto, para todo λ real, escogiendo la normalización de $\langle \psi | \psi \rangle = \|\psi\|^2 = 1$, se tiene:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \langle (X_j + i\lambda P_j)\Psi | (X_j + i\lambda P_j)\Psi \rangle = \langle \Psi | (X - i\lambda P)(X + i\lambda P) | \Psi \rangle \\ &\langle X^2 + \lambda^2 P^2 + i\lambda[X, P] \rangle = \\ &(\Delta X)^2 + \lambda^2 (\Delta P)^2 - \lambda\hbar \end{aligned}$$

La última línea convenientemente escrita nos muestra la ecuación de segundo grado, cuya variable es λ .

Suprimiendo, y aplicando la relación de conmutación, usando la definición de valor medio.

La condición de ser positivo exige que el discriminante de esta ecuación de 2º orden sea negativo (en caso contrario podría haber raíces positivas y negativas), con lo que se tiene:

$$\hbar^2 - 4(\Delta X)^2 (\Delta P)^2 \leq 0 \Rightarrow \Delta X \cdot \Delta P \geq \frac{\hbar}{2}$$

Finalmente:

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{\hbar}{2}$$

Generalizando la relación de indeterminación de Heisenberg:

El desarrollo que a continuación mostraremos que el “Principio de Indeterminación de Heisenberg” tiene un carácter general para cualquier par de cantidades físicas canónicamente conjugadas.

Sean \hat{A} y \hat{B} dos cantidades que no pueden medir simultáneamente con un grado infinito de exactitud, eso quiere decir entonces que sus operadores no conmutan, por lo tanto vamos a suponer:

$$\hat{A} \hat{B} - \hat{B} \hat{A} = \mathbf{C} / \mathbf{c}: \text{ constante de indeterminación}$$

Que se determina por la desviación cuadrática media:

$$\Delta \hat{A} = \sqrt{\langle \hat{A}^2 \rangle - \langle \hat{A} \rangle^2}$$

$$\Delta \hat{B} = \sqrt{\langle \hat{B}^2 \rangle - \langle \hat{B} \rangle^2}$$

Ahora, definimos dos operadores : \hat{A}' y \hat{B}'

$$\hat{A}' = \hat{A} - \langle \hat{A} \rangle$$

$$\hat{B}' = \hat{B} - \langle \hat{B} \rangle$$

De tal manera que sean hermitianos

$$\int \psi_1^* \hat{A}' \psi_2 dq = \int \psi_1^* (\hat{A} - \langle \hat{A} \rangle) \psi_2 dq = \int \psi_1^* \hat{A} \psi_2 dq - \int \psi_1^* \langle \hat{A} \rangle \psi_2 dq \dots (i)$$

Si A es hermitiano tiene que satisfacer la condición:

$$\int \psi^* (\hat{A} \psi) dq = \int (\hat{A} \psi)^* \psi dq$$

Aplicando esta condición a la expresión (i)

$$\int (\psi_1 \hat{A}')^* \psi_2 dq - \int (\langle \hat{A} \rangle \psi_1)^* \psi_2 dq = \int [\psi_1 (\hat{A} - \langle \hat{A} \rangle)]^* \psi_2 dq = \int (\psi_1 \hat{A}')^* \psi_2 dq$$

Por otro lado partiendo de que

$$\hat{A}' \hat{B}' - \hat{B}' \hat{A}' = \hat{A} \hat{B} - \hat{B} \hat{A} \dots\dots\dots (ii)$$

Y además considerando que :

$$\int (\hat{A}'\psi)^* (\hat{A}'\psi) dq = (\Delta\hat{A})^2$$

De acuerdo a (ii) Aplicamos la siguiente expresión:

$$\int \psi^* [\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}] \psi dq = \int \psi^* [\hat{A}'\hat{B}' - \hat{B}'\hat{A}'] \psi dq = \int \psi^* \hat{A}'\hat{B}'\psi dq - \int \psi^* \hat{B}'\hat{A}'\psi dq$$

$$\int (\hat{A}'\psi)^* \hat{B}'\psi dq - \int (\hat{B}'\psi)^* \hat{A}'\psi dq$$

$$\int (\hat{A}'\psi)^* \hat{B}'\psi dq = \left(\int \hat{B}'\psi (\hat{A}'\psi)^* dq \right)^*$$

Luego tenemos:

$$\int \psi^* [\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}] \psi dq = 2i \operatorname{Im} \left\{ \int (\hat{A}'\psi)^* \hat{B}'\psi dq \right\}$$

Tomando el Valor Absoluto

$$\left| \int \psi^* [\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}] \psi dq \right| = 2 \left| \operatorname{Im} \left\{ \int (\hat{A}'\psi)^* \hat{B}'\psi dq \right\} \right|$$

Sabemos que si $z \in \mathbb{C}$ entonces :

$$|Z| = |\operatorname{Im}(Z)|$$

Entonces

$$\left| \int \psi^* [\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}] \psi dq \right| \leq 2 \left| \int (\hat{A}'\psi)^* \hat{B}'\psi dq \right|$$

Aplicando la desigualdad de Schwarz

$$\left| \int \psi_1^* \psi_2 dq \right| \leq \sqrt{\int \psi_1^* \psi_1 dq} \sqrt{\int \psi_2^* \psi_2 dq}$$

Haciendo $\psi_1 = \hat{A}'\psi$ y $\psi_2 = \hat{B}'\psi$ Tenemos:

$$\left| \int \psi^* [\hat{A}\hat{B} - \hat{B}\hat{A}] \psi dq \right| \leq 2 \sqrt{\int (\hat{A}'\psi)^* \hat{A}'\psi dq} \sqrt{\int (\hat{B}'\psi)^* \hat{B}'\psi dq}$$

$$\left| \int \psi^* [\hat{A} \hat{B} - \hat{B} \hat{A}] \psi dq \right| \leq 2\Delta A \Delta B$$

El primer miembro de una ecuación lo igualamos a C, y cambiando de miembro

$$\Delta A \Delta B \geq \frac{1}{2} |C|$$

Los casos particulares serían velocidad Vs. momentum y energía Vs. tiempo.

b. ¿Es la mecánica cuántica una teoría completa?

Las teorías físicas descansan sobre dos componentes esenciales: un formalismo y una interpretación; al desarrollo de las bases teóricas se aúna la interpretación. Einstein –por ejemplo– interpretó los fotoelectrones y pudo darle un carácter más general a este fenómeno que después se denominó efecto fotoeléctrico.

Por otro lado, la formalización se establece mediante conceptos básicos y por ende de símbolos matemáticos, veamos el siguiente ejemplo:

Posición de la Partícula, Velocidad, masa	Procedimiento Experimental. Valor Numérico	Formalización
X, v, m	20 mts, 3 mt/s, 300 gr.	$x = v_o t + \frac{1}{2} g t^2$

Sin embargo la teoría no concluye si es que no hay la debida interpretación, pues es lo que da significado a estas expresiones matemáticas; que no solo sea capaz de determinar los resultados de un experimento sino que exprese alguna comprensión de los sucesos, que puedan sustentar aún más los resultados observados; esta aseveración es muy importante pues de alguna manera se intenta resaltar la metodología no solo al campo de las ciencias físicas sino a otras disciplinas como es en nuestro caso a la educación y específicamente a la enseñanza de las ciencias.

En el caso de física cuántica una partícula (cuántica) se hace posible de conocerla a través de la denominada función de onda ($\Psi(x, t)$), su cuadrado da en forma exacta la probabilidad de hallar un electrón, pero si se detecta realmente significa entonces una posición definida aunque la ecuación describa frecuentemente como esparcido sobre una región del espacio.

Esta ambigüedad lleva a pensar que la física cuántica solo es un conjunto de reglas que permite predecir los resultados del experimento y es uno de los argumentos que plantea la incompletes de la física cuántica como teoría.

La función de onda llamado estado cuántico, especifica hasta donde sea posible todas las cantidades de un sistema físico, sin embargo esta se encuentra mediada por el

Principio de indeterminación. Lo único que podemos establecer es que todo indeterminismo se expresa matemáticamente en función de probabilidad, habría pues un conflicto entre la teoría y la imagen del mundo. Al respecto Einstein planteó tres axiomas:

Realismo: Las cosas existen independientemente del observador, las regularidades observadas en los fenómenos están causadas por una realidad física independientemente del observador.

Inducción: Tiene que ver con la inferencia deductiva, epistemológicamente si bien se puede deducir conclusiones legítimas mas no se puede deducir conclusiones definitivas.

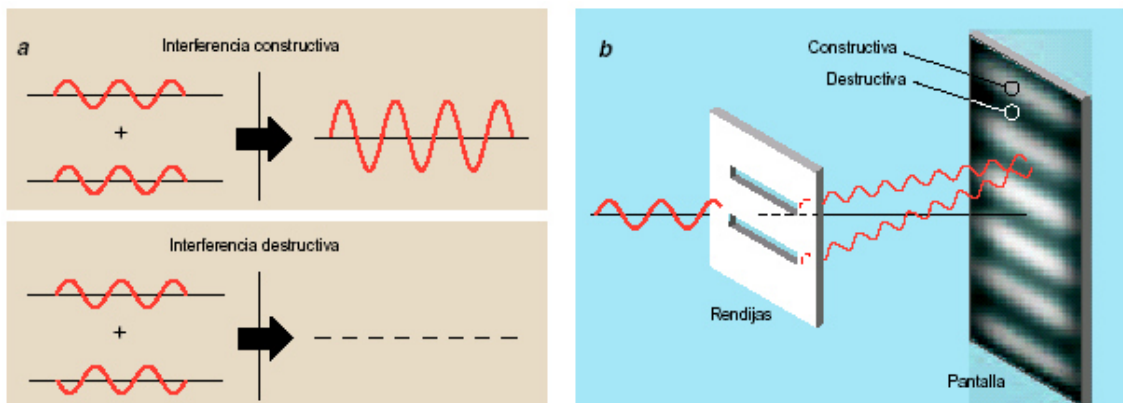
Localidad: Los eventos están ligados localmente cuya interacción a lo mucho viaja a la velocidad de la luz.

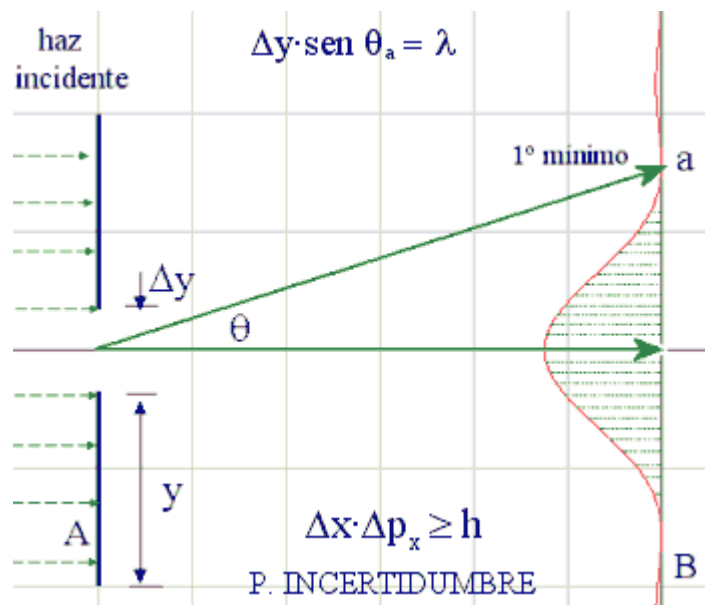
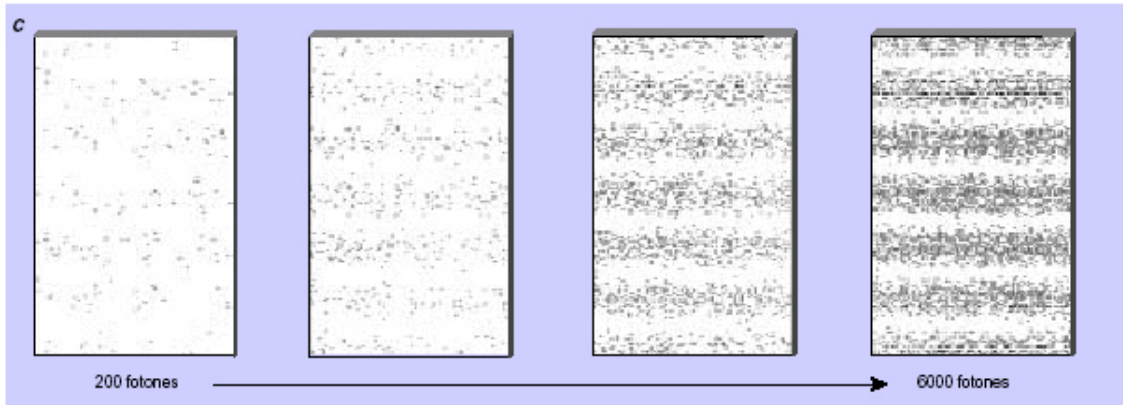
En síntesis, las observaciones básicas demostrarían que las teorías son locales o que la física cuántica – como hemos visto – es posible que sea incompleta. Al respecto Einstein plantea en un artículo (EPR): ¿Puede considerarse completa la descripción de la realidad física de la llamada física cuántica?

Una consecuencia de este razonamiento es que el momento de una partícula debe describirse en términos de probabilidad por la única razón de que hay algunos parámetros que determina el momento que todavía no ha sido determinado, según esto hay variables ocultas, pero que si estas fueran conocidas se podría definir una trayectoria totalmente determinista.

2.3 Marco experimental

Experimento básico





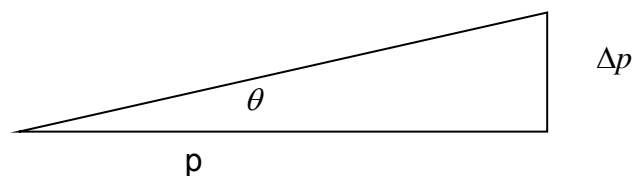
$$\Delta y \text{sen } \theta = \lambda n$$

Se trata del primer mínimo de difracción lo podemos escribir de la siguiente manera:

$$\Delta y \text{sen } \theta = \lambda \quad (\text{i})$$

Por la hipótesis de De Broglie: $\lambda = \frac{h}{p}$ (ii)

Analizando "p" de la figura:



De la figura: $\Delta p = p \text{sen } \theta$ (iii)

Reemplazando (ii) en (iii) considerando (i)

$$\Delta p = \frac{h}{\Delta y \sin \theta} * \sin \theta$$

Tenemos de la última relación, una aproximación al Principio de indeterminación:

$$\Delta p \Delta y = h$$

a. Dedución intuitiva de la relación energía-tiempo

Sabemos que

$$E = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{p^2}{2m}$$

Aplicando diferencial de energía

$$\Delta E = \frac{1}{2m} (2 p \Delta p) = \frac{p \Delta p}{m} \dots\dots(i)$$

De (i) despejando Δp

$$\Delta p = \frac{m \Delta E}{p} \dots\dots(ii)$$

De la relación de indeterminación, reemplazamos (ii)

$$\frac{m \Delta E}{p} \Delta x \geq \hbar$$

Desdoblado los términos

$$\frac{m \Delta E}{m \frac{\Delta x}{\Delta t}} \Delta x \geq \hbar$$

Simplificando Tenemos:

$$\Delta E \Delta t = \hbar$$

Nota importante: La última relación presentada se entendería como medida casi exacta de la energía que derivará en un tiempo que no estaría determinado en forma exacta, pero esto es por la propia naturaleza pues la interacción de partículas originaría estados metaestables en general estados excitados, observacionalmente corresponde a niveles de energía considerado niveles virtuales por su exposición en tiempos de vida bastante pequeño, esto supone un estado latente que aparece en una interacción nueva que recompone estados y por tanto corrige el postulado sobre niveles definido de energía.

Esta aseveración es válida también para el caso del núcleo del átomo pues si consideramos el modelo de capas de Mayer y Jensen el que una partícula (neutrón) interactúe con el núcleo, implica un trastorno en los niveles provocando un ensanchamiento o medidas controladas a través del Principio de indeterminación y de seguro nuevos niveles denominado niveles virtuales, hablamos entonces de estados intermedios.

2.4 Marco de interpretación

a. Determinismo y Principio de Indeterminación

La mecánica cuántica ocupa una posición muy original en el conjunto de las teorías físicas. Contiene la mecánica clásica como límite suyo y al mismo tiempo necesita de este caso límite para su propia fundamentación.

Lev D. Landau

Sabemos que la filosofía es la ciencia de las regularidades universales a la que se somete la naturaleza, la sociedad y el pensamiento del hombre en el proceso del conocimiento; y es el componente principal de la concepción del mundo que se asume, lo que en epistemología llaman perspectiva pre-teórica de carácter precognitivo.

Es por ello que su importancia es fundamental en el desarrollo del conocimiento, ya que ayuda a la interpretación de los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento. En el caso de las ciencias físicas, como una de las ramas particulares del estudio de la naturaleza ha de ser importante ya que señala las coordenadas dentro del espectro de las ramas científicas que se clasifican según el grado y peculiaridad del movimiento que se expresa entre otras, en sus niveles de complejidad.

Nos valemos de este criterio, para analizar un tema tan agudo y polémico de la física cuántica como el principio de indeterminación¹⁷ relacionándolo con la categoría

¹⁷ De lo registrado en cuanto a crítica del Principio de indeterminación tenemos a Luis del Castillo y a Oscar Monroy. El primero resalta la impredecibilidad antes que la indeterminación, los dos concuerdan en negar el carácter de principio. Monroy afirma que todo principio en física debe tener como consecuencia una tecnología de medición

filosófica¹⁸ del determinismo; sustentándonos en Engels¹⁹ cuando afirma que cuando unimos dos ramas del conocimiento dialécticamente nos permite conocer con mayor profundidad la realidad objetiva, en nuestro caso las leyes que rigen el mundo cuántico.

El principio de indeterminación, enunciado por Heisenberg en la década del veinte, señala que *“en la teoría cuántica es imposible contestar a cualquier cuestión que se refiera a valores numéricos simultáneos “q” y “p”, aunque es de esperar sin embargo que se pueda contestar a las cuestiones en la que solo “q” y solo “p” admiten valores numéricos dados”*²⁰.

El ensayo que presentamos en esta parte, pretende ligar el determinismo con el principio de indeterminación; de aquel determinismo que se adhiere firmemente a la realidad concreta. No se está tomando una categoría, acoplado al fenómeno como una hipótesis ad – hoc, la categoría del determinismo se recoge de los hechos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento tratando en lo posible de encontrar una regularidad.

¿Qué se ha podido encontrar en esta larga búsqueda? Que el **PROBLEMA PRINCIPAL DE LA INTERPRETACIÓN DE LA FÍSICA CUÁNTICA ESTA LIGADO AL PROBLEMA DEL DETERMINISMO**; así, hasta el desarrollo de la mecánica clásica hablábamos de un determinismo Laplaceano, aquella que conociendo las condiciones iniciales en forma completa, podíamos conocer el futuro de manera exacta. Por ejemplo, en una partícula material, conociendo la posición y la velocidad inicial podíamos conocer el futuro de manera exacta en cuanto a la trayectoria de dicha partícula, lo que se llama la evolución espacio temporal de la partícula clásica.

Este tipo de determinismo correspondió a una etapa histórica, por tanto tuvo su utilidad, después del cual, si se seguía aplicando resultaba un lastre para el desarrollo científico, y los problemas ya lo podíamos ver en el análisis de la entropía, la teoría cinética de los gases, pero donde se notó con mayor intensidad fue en la física cuántica y concretamente en el Principio de indeterminación²¹, hecho en la cual se volvió a plantear el problema del determinismo como un tema por desarrollar²².

Por otro lado, el determinismo lleva consigo elementos de causa y efecto que epistemológicamente supone asegurar la explicación de un fenómeno o concepto; aunque algunos suelen decir de esto, que solo es proposición sintética que se manifiesta como el ordenamiento temporal (Kant) de percepciones sucesivas²³. Lo cierto es que la

¹⁸ pag. 17, Dirac Quantum Mechanic, “la necesidad de apartarse de las ideas clásicas al intentar dar una explicación de la estructura elemental de la materia se deriva no solo de los hechos establecidos experimentalmente sino también de razones filosóficas generales”

¹⁹ Engels dice: “... y menos lo es la necesidad de establecer la debida conexión entre los diversos campos del conocimiento, pero al tratar de hacer esto, las ciencias naturales se desplazan al campo teórico donde fracasan los métodos empíricos y donde solo el pensamiento teórico puede conducir a algo”.

²⁰ Proceedings of the Royal Society, Dic. 1926, hay una versión del enunciado publicado en 1927 en la revista Zeitschrift Fur Physics donde se parte del formalismo cuántico.

²¹ En la Revista Mexicana de Física 25 (1976) E31-e38 se habla de centro de los problemas de la mecánica cuántica.

²² Einstein en la Revista Science. Física Teórica, 1940, nos dice: “Es probable que esté descartado que algún conocimiento futuro pueda obligar a la física a abandonar su fundamento teórico actual, de carácter estadístico a favor de otro determinista...”

²³ MITTELSTAEDT, P. “Problemas Filosóficos de la Física Moderna”, Alhambra, Capítulo 5, (1969)

ley de causalidad: “asegura que si se tiene el estado inicial de un sistema y el conjunto de leyes que gobiernan su evolución, existe una única sucesión de estados, cada uno de los cuales puede asumirse como el resultado de la evolución del estado inicial”²⁴.

Sin embargo los nuevos fenómenos obligan a renunciar el caso ideal clásico de causalidad y esto trae aparejado, la necesidad de revisar radicalmente nuestras concepciones sobre la física.

El clima de desarrollo científico y la búsqueda de nuevos conceptos obligó a redefinir el determinismo en el sentido que ya no se habla de una causa completa – la que vimos en el ejemplo de la partícula material – sino de una causa específica, aquella que es el conjunto de varias circunstancias que existían ya en la situación dada antes del surgimiento del efecto y que constituyen las condiciones de acción de la causa, conduce a la aparición del efecto²⁵. Así pues, en la actualidad cuando se hable de determinismo, tendríamos que referirnos a su dependencia causal, sean estas completa o específica: esto último en la cual esas circunstancias o esos hechos que interaccionan con el sistema manifiestan una cierta desviación, indeterminación; previniendo que no es extraño que aparezca hechos casuales (entendida como la influencia no prevista de otros fenómenos) pero, que precisamente el encontrar las leyes que rigen determinado fenómeno - en nuestro caso - el cuántico disminuye el índice de casualidad.

¿Se definió el determinismo nuevo y superior aislado de los fenómenos de la naturaleza, la sociedad y el pensamiento.- ¡NO! – y aquí vuelvo a la tesis de principio – si la filosofía estudia las leyes generales que se sintetizan de los hechos, entonces ese determinismo está tomado de esos hechos. Podemos citar el modelo de asignación de recursos, tema de investigación de operaciones donde es predominante la determinación de factores condicionantes en el desarrollo del modelo pero que sabemos que es imposible considerar todos los factores, sino los principales; aquí hay una cierta desviación, un cierto indeterminismo, el objetivo es controlarlo. El desarrollo pluricelular que obedece entre otros, a factores externos como el medio ambiente, el líquido extracelular. Su regularidad su determinismo está asociado a la regularidad del comportamiento en grupos.

Aquí hay elementos de necesidad y causalidad características sustanciales del determinismo nuevo y superior, que nos lleva a una concepción mas avanzada que se adhiere a la realidad concreta.

Quienes soslayan que el determinismo ha evolucionado y ha dado un salto cualitativo desbarran en el fondo en posiciones anticientíficas como negar la materia, a la imposibilidad del conocimiento²⁶, o como dice Dirac: “se aplica exclusivamente a sistemas que no hayan sido alterados, pero si es pequeño nos es imposible observarlo sin producir una alteración considerable y por lo tanto no podemos encontrar una relación causal entre los resultados de nuestras medidas” como vemos se queda en el “determinismo Laplaceano”. Es por ello²⁷ que la interpretación de Copenhague²⁷, escuela

²⁴ D'ABRO, A. “*The Rise of the New Physics*”, Vol. 1, Dover, Capítulo VII, (1951)

²⁵ Diccionario Filosófico, Edit. Mir Moscú, 1987, varios Autores

²⁶ Dirac en la pag. 18, plantea que “la relación causal (no define el tipo de causalidad)

²⁷ Tomamos la interpretación de Copenhague porque es, por así decirlo, la opinión oficial sobre los problemas de la mecánica cuántica. Hay otras interpretaciones como la estadística (Peña y Cetto 1973), la transaccional que es una revisión de las otras interpretaciones

que no asume el determinismo nuevo y superior así como otras interpretaciones alternativas como la estadística, tiene el mismo problema para interpretar correctamente la naturaleza de los fenómenos a nivel cuántico. Veamos:

Si partimos que el problema central está en la caracterización de la materia a nivel de micro objetos. Diremos que usualmente se suele hablar respecto a esto como un ente irreductible único, que sus “propiedades ondulatorias y corpusculares, son manifestaciones de aspectos diferentes de su naturaleza intrínseca”²⁸, Monroy dice: “... se postulan dos entidades abstractas: onda y partícula, las cuales solo existen en nuestra imaginación. Por consiguiente los conceptos de onda y partícula constituyen lenguajes inadecuados para la evolución de la física²⁹. Debemos entender que la naturaleza intrínseca de ser onda y partícula; no es sino, una fase nueva y superior del movimiento de la materia, por tanto cualitativamente distinto, se habla pues de comportamiento o propiedad pero ya no de una partícula a veces o una onda a veces, porque eso no hace sino confundir como la fábula de Esopo: “Los siete Ciegos y el Elefante” : un ciego que toca las patas dirá afirma que es un árbol, el otro ciego que toca la trompa afirma que es una manguera, el tercer ciego que toca por otro lugar que no es ni manguera ni árbol y así sucesivamente”.

Hay una pregunta que solemos hacernos cuando queremos interpretar los fenómenos del mundo cuántico, es la siguiente:

Si $\Delta q \Delta p \geq \hbar$ es un principio categórico, ¿quiere decir que nunca conoceremos el futuro del electrón? Pensar que la partícula cuántica se comporta como una partícula clásica es negar la inagotabilidad de la materia; en todo caso si el universo fuera clásico y la materia agotable, con el principio que se tiene nunca se conocería el futuro del electrón, y hasta donde sabemos los cálculos modernos son bastantes predictivos, solo que el formalismo y los conceptos son distintos a la de la teoría clásica. Monroy dice en otro apartado: “Otra de las consecuencias importantes de este análisis es que el principio de indeterminación no puede seguir aceptándose como una limitación que nos impone la naturaleza a todos nuestros intentos de conocer con certeza su funcionamiento exacto”.

En la interpretación de Copenhague³⁰ parten de un punto de vista observacional; que es la posición más firme: “LO QUE NO ES OBSERVADO NO EXISTE”³¹ afirman, el fondo de esta afirmación es negar que la realidad existe independientemente de nuestra conciencia y voluntad. Al respecto Dirac dice: “La ciencia estudia los casos observables, empero deja abierta la posibilidad de estudiar los casos inobservables, en todo caso la ciencia estudia el mundo objetivo”; ¿se puede mejorar el punto de vista observacional mediante experimentos más finos, más puros, evitando la dispersión

²⁸ Wichmann Eyvind H. Física Cuántica; Berkeley

²⁹ Rev. Inv. Fis. Vol U(2007)

³⁰ Es la escuela que considera a la relación de indeterminación como el principio que fija el límite de aplicabilidad del concepto de objeto e instrumento, concepto tomado de la física clásica (Omelianovski).

³¹ Entendemos como manifiesta Omelianovski, que lo que impulsa el desarrollo de la física, no es el principio de observabilidad sino algo que guía el hecho que la física independientemente de este principio y que el idealismo físico se empeña en vincular con el principio de observabilidad, a saber, el pensamiento abstracto del hombre de ciencia. Puesto que los datos de la observación inmediatamente resulta insuficiente para conocer las leyes de la naturaleza, esta observación ha de ser complementada necesariamente con la actividad del pensamiento abstracto, el cual se basa al igual que la observación en la experiencia o sea en la práctica, pág. 129.

estadística en todas las variables físicas? Pensar esto es no haber entendido lo categórico que es el principio de indeterminación; por más pura que se haga una experiencia el principio de indeterminación prevé que estos fenómenos tienen un comportamiento cuántico y que en su parte cuantitativa no se puede suprimir las fluctuaciones estadísticas; no es como afirma Wichmann que “habría que argüir que la indeterminación es solamente el resultado del hecho que los dispositivos experimentales³² no son los mejores posibles”. Cuando mas atrás se desdice dando una apreciación sobre el principio de indeterminación: “Cuanto mas aceptamos la mecánica cuántica como teoría, introducimos en ella una indeterminación”. El principio de indeterminación no está vinculado con la indeterminación en el proceso de medición sino con la indeterminación cuántica intrínseca de la función de onda y el espectro de energía ya asociado a dicha función; por esto cualquier significado del principio de indeterminación debe estar como señalaron tempranamente Aharanov y Bohm, en la descripción matemática de la teoría, en la manera como describimos a la naturaleza.

¿Qué resultados podríamos obtener al aplicar la categoría del determinismo al principio de indeterminación? Landau ha dado una precisión respecto al electrón: “objeto cuántico de una partícula o sistema de partículas a las que no se puede aplicar la mecánica clásica”³³. Nos valemos de esta precisión para decir que como partícula “solitaria” su movimiento es cuántico por tanto su “futuro” estará definido por su interacción con otras partículas, el principio de indeterminación prevé esto. Como ensemble marcará la dispersión y el principio de indeterminación también lo prevé $\Delta q \Delta p$ serán simplemente desviaciones normales. Nos preguntamos ahora ¿nos interesa el futuro de un electrón solitario? Lo podríamos estudiar si se sometiese a la mecánica clásica pero es imposible debido a la multiplicidad de nexos, aparte de que es innecesario desde el punto de vista práctico, necesitamos conocer si el comportamiento del ensemble para controlar las variables macroscópicas como presión, temperatura, volumen etc.

Todo hace pensar que la interpretación estadística es la más apropiada para la descripción de los fenómenos cuánticos, pero esta tiene dos limitaciones graves. Primero, en la interpretación estadística no se admite la inferencia de un microsistema a un ensemble, ya que si lo admitiera no tendría problemas en describir; cuando la interpretación de Copenhague le plantea utilizar el análisis para un microsistema; segundo, que la interpretación estadística se queda en el aspecto cuantitativo del análisis, por tanto a la relación de indeterminación no podría darle la categoría de principio, pues este último es un aspecto cualitativo. Cabe hacer la aclaración que decimos principio cuando a la relación de indeterminación se eleva a dicha categoría postulada como ley de la naturaleza y como punto de partida de una crítica de los conceptos de la física clásica como es la “observación” que parecía inquebrantables³⁴.

Por último hay un aspecto que tiene que ver con el formalismo de la mecánica cuántica como es la ecuación de Schrödinger³⁵ La ecuación determina la dependencia

³² La escuela de Copenhague sustituye el instrumento de medición por el de observador (pág. 131, Omelianovski; y entonces creamos una dependencia de la materia (objeto cuántico) de la observación, medición y experimento.

³³ LANDAU L, E. LIFSHITZ, Mecánica Cuántica, Curso Abreviado de Física Teórica, Tomo II, Editorial Mir Moscú, Traducido por Antonio Molina García, 1974.

³⁴ M.E. Omelianovski. Pag 41

³⁵ que no se desliga de la relación de indeterminación de Heisenberg ya que esta es una consecuencia

temporal de la función de onda pero no impone restricción al “aspecto” de la onda, en un cierto instante sin embargo, si restringe los aspectos de la onda en dos instantes diferentes de $\Psi(x,t)$. Conforme a Omelianovski la función ondulatoria es una característica del mundo cuántico y no una característica “instrumental”³⁶. Un intento de significado también lo resaltamos del estudio del Prof. Del castillo cuando afirma que ψ es una lista ordenada de probabilidades, basado en la estadística correspondiente a los diversos resultados de unos ensayos concretos de un objeto microscópico con un instrumento macroscópico, en otras palabras, la función ondulatoria refleja el mundo cuántico. Determina unívocamente la función de onda en cualquier otro instante y fija así el estado de movimiento de la partícula. En este sentido podemos decir que la ecuación es determinista, y esto es claro porque sencillamente necesitamos predecir su comportamiento, el encerrarse en el acto de observación es caer en el empirismo de no poder crear conceptos, desembocando en negar el fundamento de la ciencia que es controlar y predecir fenómenos.

Vemos pues, que el comportamiento “estadístico” de los micro objetos no contradice en principio el determinismo clásico, el proceso sigue siendo el mismo (causa y efecto), con la particularidad que hay que refinar el concepto de causa que ya hemos dado.

Hemos querido, en esta parte, interpretar desde otro punto de vista, de otra concepción del mundo, sabemos que hay un predominio de autoridad, una “voz oficial” sobre estos problemas (la escuela de Copenhague); esto no nos inhibe de buscar el camino correcto, de ir a los principios, no entrando en las intrincadas formulaciones de la interpretación de Copenhague, ya que podríamos resbalar en posiciones anticientíficas.

directa del carácter de la solución de la ecuación de Schrödinger y esto es relativamente equivalente, Cramer)

³⁶ Ibid p. 76

CAPITULO III

CONTRIBUCIONES A LA FILOSOFÍA Y PEDAGOGÍA

“La historia de la ciencia no es solo la historia de los descubrimientos y observaciones, sino también es una historia de los conceptos”

W. Heisenberg

3.1 Consecuencias para la filosofía

a. Determinismo y física cuántica

Los marcos de interpretación, llamado también paradigmas según Kuhn, en física cuántica, no han estado conforme a los descubrimientos y al desarrollo del formalismo. El mecanicismo es una expresión filosófica e interpretativa del siglo XVIII, que a la luz de los descubrimientos de la doble naturaleza y la indeterminación ya no correspondían a este nuevo contexto; sus limitaciones se expresaban en la incapacidad para comprender la naturaleza como materia en movimiento en sus variadas formas. En el caso de la física, el descubrimiento de los electrones, la radiactividad, la estructura compleja del átomo, etc., obligó a modificar nuestra concepción del mundo cosa que se vio con mayor intensidad en los siglos XIX y XX. Esto es una primera contribución de la física cuántica, pues apuntala el pensamiento y la visión que tenemos de lo que nos rodea; y a su vez, ésta revierte en la ciencia para hacerla mas objetiva, no solo en sus aplicaciones prácticas sino en su desarrollo teórico que ayudaría a otras disciplinas.

Otro aspecto a destacar es que ante la llamada sustitución de una teoría científica por otra y que en algunos casos se considera desechar, diremos que en realidad es una sustitución dialéctica, en el sentido que se toma lo vigente y se establece la frontera de hasta donde se puede ir con tal teoría, no es como consideran algunos, la destrucción de una concepción como es la determinista, diríamos mas bien y como lo hemos trabajado en el capítulo III, que el determinismo como concepto necesita ser mejorado. Lo cierto es que en el determinismo aceptamos la causa y es en la causa donde cabe hacer precisiones cuya evidencia se recoge de la naturaleza, la sociedad y el conocimiento.

Tampoco la teoría es inmutable como a veces suelen creer los científicos, cosa que le ocurrió a Lagrange cuando manifiesta respecto a la obra de Newton que “el sistema del mundo solamente puede establecerse una vez”. Aportes de la filosofía y de la moderna epistemología consideran el carácter aproximado y relativo de las teorías científicas, y otros como Popper que son más precisos, no hablan de demostrar la verdad de una hipótesis, sino de la falsedad la misma por lo mismo de su carácter aproximado.

En el caso de las leyes físicas decimos: dadas las condiciones iniciales se puede conocer la evolución temporal de un objeto en su espacio, de alguna manera está considerando implícitamente todas las causas eso es lo que dedujeron de las leyes de Newton. De acuerdo a la tesis central no es único tipo de causa hay la causa específica que no se considera en la mecánica de Newton. En ningún caso se desconoce el principio general de la causalidad que se manifiesta “en la existencia de una

interrelación objetiva y de un mutuo condicionamiento de los fenómenos y objetos” (Terletski).

En la parte que rechaza la tesis determinista con la especificidad de la causa manifiestan el indeterminismo en las leyes físicas, o lo que es peor aún, en la base de las teorías de los micro fenómenos, he aquí sus principales errores:

- a.- Desconocen o niegan que hay diferencia entre determinismo mecanicista y determinismo en general.
- b.- Confunden la causalidad con la regularidad dinámica.
- c.- Consideran que la causalidad son categorías subjetivas

El problema de la causalidad y la necesidad en la naturaleza se suele sustituir por el de precisión alcanzada por nuestro conocimiento (simultáneo) de las diferentes magnitudes cuánticas. Pues bien, el problema no consiste cual es el grado de precisión que han alcanzado nuestras descripciones de las conexiones causales, ni si tales descripciones puedan expresarse en una fórmula matemática, sino en saber si el origen de nuestro conocimiento de esas conexiones está en las leyes objetivas de la naturaleza

3.2 Consecuencias para la enseñanza de la física

a. La aplicación del enfoque concepcional de la enseñanza

La manera como enfocan los científicos sus objetos de estudio no ha sido del interés de los mismos, sin embargo sin proponérselo – en muchos casos - han encontrado metodologías innovadoras lo es el caso de Galileo³⁷ y lo que se llamó el método experimental revolucionando el método científico, pero reitero, sin proponérselo. También podemos citar el caso de Newton que dio a la llamada filosofía natural un carácter más exacto y preciso ya que por vez primera usa el formalismo del análisis infinitesimal encontrando y sintetizando leyes que lleva su nombre. No podemos dejar de mencionar al mismo Einstein que con el llamado experimento mental, a más de un científico daba un dolor de cabeza, emblemático es el experimento EPR. Y en estos últimos tiempos tenemos al estudio de los fractales que con las bases creadas por Benoit Mandelbrot han revolucionado la manera como debemos enfocar el estudio de la ciencia, por cierto mas sintetizada y holística.

Estos hechos mencionados nos permiten tomar aquello que puede ser útil para los procesos de enseñanza aprendizaje en consonancia con las bases epistemológicas en el sentido que los modelos formalmente deducidos y probados nos autoriza para aplicarlo en otra esfera del conocimiento siempre y cuando haya cierta atingencia desde el punto de vista del lenguaje rigorizado que se use.

Cuando describimos y buscamos una explicación al principio de indeterminación bajo un marco amplio que parte de la concepción del mundo, de los descubrimientos, historia y teorías, sin proponérmelo se estaba diseñando una manera de enfocar la enseñanza de las ciencias, pues para establecer que el determinismo ha evolucionado y

³⁷ CHICANA NUNCEBAY, Wilder; Galileo El Mito y el hombre, I Jornada Científica estudiantil FCF – UNMSM 1987.

se adhiere a los fenómenos del micromundo se ha tenido que afrontar del problema desde múltiples dimensiones buscando no solo la significatividad de los contenidos sino también a través de ello su precisión conceptual.

Y si bien nuestro trabajo se centra en el principio de indeterminación, gracias a la forma como hemos concebido el estudio, hemos podido abarcar otros temas de las ciencias físicas, siempre con la misma metodología y la manera de enfocar que hemos denominado ENFOQUE CONCEPTUAL EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, y que pretende ser una propuesta a la moderna enseñanza de las ciencias y específicamente de la física.

A continuación algunos aspectos de la propuesta:

El desarrollo científico y tecnológico mundial, en contraste con lo poco que hemos desarrollado en nuestro país nos obliga a especificar el tema de la ciencia en nuestro país bajo un marco distinto de trabajo y la manera de afrontarlos. Desde el punto de vista pedagógico supone aprendizajes significativos, pues el desarrollar y visionar la ciencia en perspectiva se asegura cual es la limitación y el grado de aplicabilidad en nuestro país.

El enfoque conceptual - por tanto - no está al margen de la realidad social y cultural de nuestro país y por eso mismo hacemos uso de la metodología científica que es “universalmente” aceptada pero que en su enfoque e interpretación da una aplicabilidad potencial de su conocimiento, eso da conciencia que si bien la ciencia es universal en lo social se especifica a las necesidades objetivas y subjetivas de cada realidad³⁸. Por tanto, hay una importancia gravitante desde el punto de vista pedagógico. Una especificación de esto es que da una transversalidad al currículo, “aquello que debe ser claro y formar parte de la cultura de la sociedad que merece ser seleccionada para ser enseñada y también para ser aprendida de tal manera que se rompa con el déficit de socialización en la formación del ciudadano...”³⁹

El hecho de enfocar los temas científicos desde su concepción, de sus necesidades y aspiraciones colectivas supone darle una aplicabilidad de acuerdo a la realidad local y/o nacional, un caso de ellos fue el tema que se trató sobre el uso de aparatos de radiofrecuencia como son los celulares⁴⁰ si bien sobre el particular existe variedad de temas lo cierto que nosotros como educadores lo planteamos porque esto resulta ser un mal en los hábitos de consumo de las personas, el estar expuesto a radiaciones de alta frecuencia por no tener análisis de prevención etc. Como se ve en este solo tema específico, nos pluridimensiona hacia otros temas inclusive sociales y por tanto hace que los aprendizajes sean significativos, muy aparte de ir cambiando su estructura mental de manera continua. Otros temas trabajados bajo el enfoque conceptual de la ciencia son las siguientes:

- Uso y aplicaciones del Láser
- Ciencias de los Fractales
- Comunicación Cuántica

³⁸ Ann Druyan dice: “Llevar las lecciones de la Ciencia al Corazón” Pag. 10 Revista Discovery Vol 7 2003

³⁹ Blanca Martínez, La Interdisciplinariedad.... pag. 26

⁴⁰ Clases dictadas a manera de conferencias a los alumnos (as) de secundaria del C.E. 2086 Perú Holanda

- Principios de Astrobiología
- Impacto de Ciencia y Tecnología en la Sociedad
- Nanociencia y Nanotecnología
- El Universo y los agujeros Negros
- World Year of Physics 2005
- Año internacional de la Astronomía

Siempre hay la interrogante de que hacer con los temas que son de alta contenido científico como puede ser la computación cuántica; al respecto existe mucho debate, unos consideran que las mentes no están preparadas, otros que son muy complicados y que no tienen sentido explicarlos y difundirlos. Pero el otro flanco al cual nos adherimos, plantea que si bien son avanzados no cabe duda que son los logros de la humanidad finalmente, por tanto su sentido social es innato.

Esto nos lleva a algo que hay que decirlo con humildad, el modelo de enseñanza de las ciencias siendo artefactos creados por los hombres, tiene un tiempo de vida, y por tanto si la concepción del mundo de la población es científica o se masifica la ciencia en nuestro país, el modelo a aplicar sería otro que seguramente tenga que ver con la especialización y profundización de los temas. Y entonces los estudiantes entenderán que este nivel de conocimiento no basta, hay que avanzar mas; y si son conscientes de ello entonces también son los personajes de la historia a futuro que emprenderán un desarrollo científico sin precedentes y de servicio a la nación, lo externo, el apoyo de otros científicos, las campañas, los eventos, los maestros serán importantes pero no será lo fundamental para el desarrollo científico y tecnológico de nuestro país.

Además el enfoque conceptual de la enseñanza de las ciencias por lo mismo de ser un enfoque totalizador globalizador genera un reponteciamiento de la organización del trabajo de aula como los centros de interés (ejemplo, el Año Internacional de la Física), y la organización de los contenidos científicos por método de proyectos operando unidades interdisciplinarias (ejemplo, Proyectos de Aprendizaje sobre el cáncer, proyecto de innovación educativa llevado a cabo en la I.E. 2086 Perú – Holanda, 204-2005, como una aplicación del enfoque conceptual).

¿Que justifica el enfoque conceptual?. hemos referido de la importancia que la comunidad científica se involucre en la tarea educativa en lo que J. Núñez, 1994 ha denominado la integración vertical que supone que la actividad científica se involucre a las mas diversos ámbitos de la práctica social. Y si la educación es un proceso o movilización social los contenidos deben viabilizarse hacia una orientación social que garantice a aprendizajes significativos bajo un enfoque conceptual.

“Un hecho fehaciente que justifica la creciente necesidad de la integración vertical de la ciencia, es que cada vez toma mas fuerza el criterio de que los avances de la ciencia y de la tecnología no solo repercuten y afectan la vida económica; sino que repercuten en toda la cultura que sirve de base a la cohesión social”⁴¹

Recreamos el Enfoque Conceptual bajo los planteamientos de la profesora Martinez:

⁴¹ B. Martinez la Interdisciplinariedad....., pag 20

- La repercusión de los avances en Ciencia y Tecnología en la Sociedad
- Multiplicidad de saberes y actividades científicas
- Crecimiento explosivo de información
- Acceso cada vez mas fácil a la información
- Necesidad de solucionar problemas concretos en la sociedad
 - Salud
 - Formas y hábitos de consumo
 - Comprensión lectora
- Finalmente es el hombre que con una concepción del mundo que si es científica implica que es transformadora por un mundo mejor.

b. Implicancias del Enfoque conceptual:

El enfoque conceptual no solo es modificar contenidos, sino también el propio sujeto por una visión científica del mundo. Al respecto el Doctor J. Fiallo dice:

“Las relaciones interdisciplinarias, abarcan no solo los nexos que pueden establecerse entre los sistemas de conocimientos de una asignatura y otra, sino todos aquellos vínculos que se pueden crear entre los modos de actuación, formas de pensar, cualidades, valores convicciones y puntos de vista que potencian las diferentes asignaturas”.

Para ello:

El proceso de enseñanza aprendizaje bajo un currículo pertinente que asegure las actividades, proyectos y sesiones en ciencias de la escuela y para la escuela debe conjugar los métodos pedagógicos con los propios de la investigación científica.

Siendo así, la ciencia masificada extendida y eventualmente profundizada generará una visión del mundo transformadora. Porque en este proceso educativo no se contemplará solo la transformación del individuo sino - con el propósito pedagógico - dotarles de medios superiores de transformación de los medios de producción y las fuerzas productivas donde la ciencia es fuerza productiva directa. Esta aseveración plantea en síntesis la ligazón que hay entre lo local y lo global, en lo particular y lo universal entre las necesidades concretas de un país y el desarrollo científico a nivel mundial.

Existe pues, una urgencia de cambiar todo lo que se ha hecho acerca de la enseñanza de las ciencia, y existe la urgencia de incorporar a las inmensas masas del Perú a las necesidades de desarrollo científico y tecnológico que necesita nuestro país y por tanto de convertir a nuestros estudiantes a futuro en elementos activos del país. Y como dice la Dra Ann “... la ciencia se convierta en una forma de ver y pensar que sea natural para todos y no esté reservada en unos pocos afortunados”.

c. Implicancias metodológicas y didácticas del enfoque conceptual

“Los conceptos científicos comienzan a menudo con los que se usan en el lenguaje ordinario para expresar los hechos cotidianos, pero se desarrollan de modo diferente. Se transforman y pierden la ambigüedad usual en el lenguaje común, ganando en exactitud para poder ser aplicados al conocimiento científico”

Albert Einstein y Leopold Infeld
La evolución de la física

Toda comunicación en su concepto más grueso, lo entendemos como una interacción entre emisor, receptor y medio. Quienes sistematizaron estas ideas fueron Shannon y Weaver quienes agregaron el término “mensaje”, que se entiende por los contenidos simbólicos, en conjunto diremos de un modo más preciso y haciendo un paralelo:

Emisor: instituciones con personal especializado

Receptor: grupo heterogéneo y disperso

Canal: recursos tecnológicos, prensa, radio, TV.

Mensaje: contenido simbólico

La comunicación será efectiva o perfecta si es de ida y vuelta, eso significa obtener respuesta; como ejemplo señalamos un criterio científico en un enlace comunicativo será perfecto si es que el grupo poblacional asimila el contenido y lo materializa a través de su actuación, de su práctica, puede ser el caso de un sismo (como lo comunica el científico es importante) pero en esencia se trata de transferir conocimiento científico, de manera contextualizada no como se comunica entre los científicos que es más especializado.

A ello se le ha venido a llamar lenguaje denotativo algo como un prefijo “de” (definición) indicándonos que un lenguaje por conceptos es más efectivo que un lenguaje de ideas sueltas y no normalizadas (lenguaje connotativo).

Sintetizando la idea diremos que la función de lenguaje denotativo es una manera que expresa las cosas científicamente partiendo de la realidad, para llegar a esto tiene que ligar conceptos generando otros más complejos y de ahí transferir en lo posible finamente usando recursos amigables, pero sin perder el contenido científico porque de lo contrario no será denotativo.

Vemos entonces que lo esbozado líneas arriba, no es solo, los cuatro elementos de comunicación que se señaló líneas arriba, sino que a raíz de plantear el concepto dentro de la comunicación por un lado, hace falta construir el concepto para emitirla (en nuestro caso revestirlo de significado) llamado codificador y receptor el concepto desglosándolo en elementos más observables (decodificador).

A modo de ejemplo, cuando hemos explicado la energía a nuestros alumnos podemos usar los laboratorios, material bibliográfico o un sistema audiovisual (me quedo con este último) este será el medio, el tema a trabajar (mensaje) la fuente sería el maestro, el receptor los alumnos si han entendido se expresará en las actividades por el profesor planteada, diremos que la comunicación científica es perfecta.

El profesor aunque parezca reiterativo tiene que reconstruir el concepto podemos señalar el concepto de sistema solar (antes del 2006), pues bien hay que reconstruirlo, entonces no es reiterativo y el que recepciona tiene que encontrar elementos observables tales como luz, calor, sonido, viento y de ahí desglosar mas.

Sobre este aspecto muchos científicos que han querido experimentar sobre las relaciones cotidianas con la actividad científica lo han visto simplista y han expresado burla cuando se hace comparaciones, empero tengo que decir que los mismos científicos mundiales lo han hecho para poder plasmar sus teorías o diseñar un experimento: BUDIN DE PASAS, QUARKS, MODELO DE LA GOTA LIQUIDA etc. Ahora, lo que si es importante decir es que la comparación y/o relación es solo la parte inicial de la tarea de un pedagogo científico vienen otros conceptos que podemos utilizar ejemplo: Modelo.

Popularizar la ciencia considerada una actividad lateral de la comunidad científica y los que estén ligados a ellas, a raíz de los problemas de la sociedad y los problemas globales, obligan a verlo desde un marco mas sistemático y organizado llamaríamos comunicación científica y que sus contenidos sean ligados y ordenados, esto es enfoque conceptual. cuya base es epistemológica y pedagógica.

Señalo algunas experiencias que han sido contrastados con otras experiencias nacionales e internacionales; Uno de ellos es el trabajo de laboratorio orientado a cimentar el concepto de clases demostrativas, sustentado en un problema de organización del trabajo en el aula y en la eficientización de los contenidos a ser transferidos reconstruyendo los conceptos y buscando implicancias en aspectos que no son científicos pero si sociales, tecnológicos y productivos. Desarrollar todo un procedimiento en el trabajo de laboratorio y dado los tiempos que se manejan en educación secundaria no es factible hacer un experimento masivo en el aula, y si se hace es a costa de disminuir los tiempos para otros contenidos de otras materias no científicas muy importantes en la formación de los estudiantes. Centrar en lo demostrativo motiva el interés de trabajar aspectos de experimentación mas elaborada si es que se hace necesario y pertinente, esto experiencia coincide con otras que se realizaron en la preparatoria de México con los mismos resultados y criterios que esbozo.

La experimentación en el sentido clásico, es importante pero no es determinante en el conocimiento científico ni mucho menos en la enseñanza de las ciencias, tenemos por ejemplo los experimentos mentales que es una de las técnicas que llevó a Einstein al camino de encontrar leyes de la relatividad en física, cuando planteaba por ejemplo viajar a la velocidad de la luz, era algo inconcebible pero que manejando un sentido racional y sistemático podía inferir ciertas regularidades.

Queda claro que el papel de enseñanza científica orientada a una educación científica parte del maestro que si hay o no hay laboratorio no es ninguna dificultad; Chicana Wilder plantea que en la educación científica hay dos niveles: el ideal y el real, el ideal nos dice que se requieren aulas especializadas, laboratorios, material didáctico especial, etc. pero nadie habla del cerebro de los maestros ni del cerebro de los estudiantes nadie habla de la motivación que debe inculcar el maestro de ciencias en sus

alumnos que es el verdadero punto de partida de cualquier aprendizaje serio de la ciencia.

Planteamos mas bien recursos de aprendizaje de las ciencias, desde la propia naturaleza, pasando por la construcción de equipos a bajos costo y la consideración de TICs o laboratorio+video+aula + , y en general cualquier recurso disponible lo importantes es centrar en los conceptos. Así los centros de recursos de aprendizaje representaría una variedad del enfoque conceptual.

CONCLUSIONES

Los modelos en física constituyen un elemento de singular importancia, que permite no solo reflejar el fenómeno, sino también predecir y controlar su comportamiento. Sin embargo, siempre tiene un determinado rango de validez.

La teoría que estableció Thompson se da sobre la base del descubrimiento del electrón, así como la teoría de Rutherford sobre la base del núcleo, con el arsenal teórico de la mecánica clásica, aunque claro, se presentan nuevas contradicciones, producto de que la teoría que se ha tomado no explica los nuevos fenómenos a nivel de micromundo.

El hecho de que Bohr no podía explicarse los llamados subniveles de energía implicaba que no se había estudiado nuevas magnitudes (spin giro) de determinada partícula atómica, que por cierto provoca un desdoblamiento en los niveles, que no se puede observar a través del espectroscopio.

El criterio de naturaleza dual adoptado, se debe a que se niega que la materia ha dado un salto cualitativo. Es cierto que tiene propiedades de onda y de partícula, pero no es que sea onda o partícula, la materia no puede ser una u otra cosa, la materia es el problema está en base interpretativa a nivel de micromundo.

El Principio de Indeterminación no revela la imposibilidad de conocimiento, sino hasta donde podemos conocer, dentro de la mecánica clásica.

Toda interpretación requiere de una concepción del mundo. No habrá correcta interpretación si no hay concepción del mundo correcta.

El problema principal en la interpretación de la mecánica cuántica es el problema de no haber tomado el determinismo nuevo y superior.

El determinismo ha evolucionado en otras esferas, ha dado un salto cualitativo, se ha hecho mas riquísimo, por tanto su ligazón y aplicación a las leyes del mundo cuántico es imprescindible.

Todas las otras interpretaciones, como la de Copenhague, estadística transaccional, etc., no son sino alternativas que están influenciadas por el moderno positivismo, por tanto no pueden constituir una base interpretativa que esté en consonancia con la realidad objetiva.

Todo enfoque y métodos de estudios abordados en la ciencia, y específicamente en la física, pueden ser de gran utilidad en el campo de la enseñanza-aprendizaje de las ciencias en la medida que para la pedagogía lo importante y prioritario es la organización del conocimiento científico, este es el caso del enfoque conceptual.

El enfoque conceptual se expresa en la enseñanza como un método totalizador que abarca no solo el propio contenido específico sino también viene revestido de aspectos sociales, culturales, filosóficos entre otros, dando al concepto significatividad que procure el desarrollo de un pensamiento científico y potencie la concepción científica del mundo en el estudiante.

BIBLIOGRAFÍA

BRODY T.A., CID R., JIMENEZ J. L.; LEVI Deci, MARTINEZ J.R., PEREYRA P., RECHMAN R., MORALES M.; La Mecánica Cuántica y sus Interpretaciones, Revista Mexicana de Física, 25 (1976) E31-E62

CUELLAR REYES, Ladislao; La Relación de Indeterminación, Revista Escritura y Pensamiento Nro 09, Facultad de Letras UNMSM, ISSN 1561-087X, Lima Perú

CUELLAR REYES, Ladislao. Prevocacionales de Ciencias Físicas. Ediciones Una Nueva Filosofía Agosto 2000. UNMSM.

D'ABRO, A. "The Rise of the New Physics", Vol. 1, Dover, Capítulo VII, (1951)

DEL CASTILLO GAMBOA, Luis; Conceptos Críticos Físico-Filosóficos, Revista ACCION, Ciencia y Tecnología, Facultad de Ciencias Físicas, UNMSM, 1989

DIRAC, P.A.M.; Principios de Mecánica Cuántica, Ediciones Ariel, Barcelona España, 1973. 331 pp.

E. GONZALES, J. ROLDAN; La Aproximación causa y usual frente al Problema Interpretativo de la Teoría Cuántica; Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia año/vol. 4, Número 8-9; Universidad del Bosque Bogotá Colombia; pp 155-144, 2003

EINSTEIN Albert, INFELD Leopold; Evolución de la Física, Biblioteca Científica SALVAT; 1986, Barcelona 221 pp.

FERMI, Enrico; Notes on Quantum Mechanics, Universidad de Chicago, Publicado por la Editorial Moscú, 1968; 366 pp

GIRIBET G.E., Enseñanza Revista Mexicana De Física E 51 (1) 23–30 JUNIO 2005, Sobre el principio de Indeterminación de Heisenberg entre tiempo y energía: una nota didáctica, Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, Ciudad Universitaria, Pab. I, 1428, Buenos Aires, Argentina,

HEISENBERG, W. "The Physical Principles of the Quantum Theory", Dover, Capítulo IV, (1949)

MARQUEZ JACOME, Mateo; Introducción a la Mecánica Cuántica, ORIGEN DE LA TEORIA CUANTICA, Fondo Editorial de la Universidad Inca Garcilazo de la Vega, 2006, ISBN 9972-888-44-4.

MITTELSTAEDT, P. "Problemas Filosóficos de la Física Moderna", Alhambra, (1969)

MONROY C., Oscar S., Crítica a los Principios Fundamentales de la Física: El Problema de la Medición Cuántica, Revista de Investigación de Física, UNMSM, ISSN 1605-7744, 2007

NIELS BOHR; Física Atomica y Conocimiento Humano, Ediciones Aguilar; España, 1967, 126 pp

NIÑO V., W. HERRERA, R. CORTÉS, N. FORERO, S. GÓMEZ; REVISTA COLOMBIANA DE FISICA, VOL. 35, No. 1, 2003; CAUSALIDAD Y DETERMINISMO EN LA MECÁNICA CLÁSICA Y LA MECÁNICA CUÁNTICA; Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia

OMELIANOVSKI M.E.; Problemas Filosóficos de la Mecánica Cuántica, Universidad Autonoma de México, Dirección General de Publicaciones, Edición en Español 1970, México

PUIGH S.J., Ignacio; Materia y Energía; Cuestiones Científicas Relacionadas con la Ciencia, Editorial Albatros, Buenos Aires, 1950.

RIOS QUISPE Mario, Determinismo y Principio de Indeterminación, Simposium Peruano de Física 1989, Lima Perú

RIOS QUISPE Mario; Enfoque Conceptual en la Enseñanza de las Ciencias; Concurso Nacional de Innovaciones en la Enseñanza de las Ciencias, UNESCO 2006, Tema ganador. Encuentro Científico Internacional Verano 2006. <http://www.slideshare.net/cartoni21/enfoque-conceptual/>

WICHMANN, Eyvind H.; Física Cuántica, Berkeley Physics Course, Vol 4; Editorial Reverté S.A., México