

FRANCISCO CRISAFULLI

EL SEGUNDO SALTO CUÁNTICO

Resumen: El desafío que la teoría cuántica plantea sobre el mundo microscópico está confrontada con la imagen clásica del macrocosmos, generando un panorama incierto sobre las referencias reales de ese mundo, la cual parece ajena a los patrones de certezas, derivados de la experiencia cotidiana con el mundo macroscópico. El evento denominado aquí: *El segundo salto cuántico*, representa una de las etapas en la historia de la física, de finales de la década de los años 20' del siglo XX, en la cual ciertas formulaciones de algunos científicos facilitaron superar inesperadamente los problemas planteados por el uso de ideas clásicas en la teoría cuántica y, complementariamente, esa evidencia histórica permite dar una explicación al problema de la desconexión perceptiva del sujeto con ese micromundo. Sin embargo, una reinterpretación de los principios de la dualidad onda-partícula e incertidumbre arrojan indicios sobre la necesidad de renovar el modelo atómico, heredado de principios del siglo XX, de modo que sea posible mejorar las explicaciones del comportamiento de la materia, a partir de las formulaciones de la física cuántica.

Palabras Claves: Dualidad, incertidumbre, modelo atómico.

THE SECOND QUANTUM LEAP

Abstract: The challenge that the quantum theory raises to the microscopic world, is confronted by the classic image of the macrocosmos, generating an uncertain panorama on the real references of this world, which turn out to be foreign to the bosses of certainties from the daily experience derived from the macroscopic world. The event called here: *The Second Quantum Leap*, represents one of the stages in the history of the Physics, of ends of the decade of the 20s ' of the 20th century, in which certain formulations of some scientists, they facilitated to overcome unexpectedly the problems raised by the use of

classic ideas in the Quantum Theory, and in addition, this historical evidence allows to give an explanation to the problem of the perceptive disconnection of the subject with this microworld. Nevertheless, a reinterpretation of the Principles of the Duality Wave - particle and Uncertainty they throw indications on the need to renew the atomic existing model inherited from beginning of the 20th century, in order that it improves the explanations of the behavior of the matter, from the formulations of the Quantum Physics.

Key Words: Atomic model, duality, uncertainty.

1. *Introducción*

¿Qué se sabe hoy sobre el mundo material percibido por los humanos? Encontrará una variedad sin igual de conocimientos a su disposición que puede servir de base para construir una respuesta, desde una visión oriental hasta una occidental, que explican los fenómenos que ocurren alrededor del observador. Las conexiones vía electrónica, a través de la Internet, permitirán acceder a una basta diversidad de datos. Si limitamos la revisión documental a la cultura occidental y, específicamente, con el dominio de la ciencia física, se encontrará con varios enfoques organizados en los textos universitarios, redactados por expertos investigadores y especialistas en la docencia de esta ciencia, generalmente sistematizados en tres (3) grandes bloques teóricos: *mecánica clásica, mecánica relativista y mecánica cuántica*¹.

La incursión de un novato (aspirante o no para ser profesional en esa rama de la ciencia) por los arreglos de ese conocimiento científico, probablemente, le dará la sensación de que se tratan de tres (3) organizaciones teóricas distintas para describir diferentes aspectos del mundo. Sin embargo, la literatura especializada señala que sería más preciso indicar que se tratan de distintas *aproximaciones a la misma realidad física, bajo diferentes concepciones teóricas*².

Las condiciones asignadas para acercarse a la explicación de lo que se denomina *realidad física* se encontraba dominada, a finales del siglo XIX, por la *percepción continua* que se tenía sobre las entidades macros-

¹ Cf. Acosta, V., Cowan, C. y Graham, B., *Curso de Física Moderna*, México, Harla, (1981), pp. 200-208.

² Cf. Bao, L. y Redish, E., "Understanding Probabilistic Interpretations of Physical Systems: A Prerequisite to Learning Quantum Physics", *American Journal of Physics*, (2002), N° 70, pp. 210-211.

cópicas, concepción que recibe la denominación de física clásica, la cual fue alterada a principios del siglo XX por la llamada física cuántica, cambiándola por una *imagen discreta* de los sistemas físicos, idea basada en la estructura de la materia a escala microscópica.

La incorporación del *átomo* como una partícula fundamental sobre la cual se erige una estructura de la materia *discontinua* y que, a su vez, posee una organización constituida por sub-partículas, cuya dinámica obedecen a reglas de ese sub-mundo microscópico, descritas por unos planteamientos teóricos de la física cuántica, inicialmente sobre el modelo atómico de Bohr del año 1913 y asestaron un duro golpe a la concepción continua de la materia, existente en la mentalidad del profano de la época.

Además, los refinamientos posteriores de esta teoría preliminar en la década de los años 20' del siglo XX, mostraron un comportamiento de la materia que rompía, en apariencia, con los esquemas tradicionales de la física clásica. Pero, un examen cuidadoso acerca de ciertas referencias de la teoría cuántica, específicamente, relacionadas con la naturaleza dual y limitaciones para considerar la certidumbre de ciertos observables para algunos constituyentes de ese átomo, como es el caso del electrón, permite constatar que esas concepciones clásicas, aun persisten. En palabras de Margenau, puede decirse que: “[...] la mecánica cuántica niega la continuidad del movimiento, y mucho tiempo habrá de transcurrir, tal vez, antes de que el hombre deje de creer que tales consecuencias teóricas del descubrimiento violen el sentido común”³.

2. *Problemas del modelo atómico de Bohr*

Aunque esa versión preliminar del modelo atómico contaba con la suficiente base experimental que sustentaba su validez, también existía una serie de evidencias empíricas que apuntaban hacia dificultades irreconciliables con los planteamientos teóricos de Bohr. Muchos de esos problemas se debían a las ideas clásicas que aun regían en el modelo de aquel átomo: *una partícula denominada electrón que gira en órbitas permitidas por la cuantización de la energía, en torno a otro corpúsculo llamado núcleo*⁴.

³ Margenau, H., “¿Por qué enseñar filosofía de la ciencia?”, *Episteme NS*, serie roja, vol. 1, (1981), N^os. 1-3, p. 52.

⁴ Cf. Asimov, I., *Átomo. Viaje a través del Cosmo Subatómico*, España, Plaza & James

Uno de los inconvenientes, presentes en esa imagen, tiene que ver con la desproporción existente entre la distribución de poca masa en una gran extensión de la dimensión espacial del átomo, tal que la bilonésima parte está hecha de *materia*. La arquitectura de esta versión del átomo dibujaba un escenario donde el *vacío* era el protagonista de preferencia, en comparación con la *masa* de las partículas sub-atómicas⁵.

¿Cómo puede sustentarse la imagen continua de un objeto macizo, como es el caso de una viga de acero, si sus átomos proliferan en espacios vacíos? Este cuestionamiento de cuerpos con muchos huecos, no sugiere que nuestros sentidos están siendo engañados, sino que la representación mental del átomo, basada en una idea atractiva, choca con las representaciones familiares del sujeto, derivadas de la experiencia cotidiana con el mundo *macrofísico*.

La concepción de las partículas sub-atómicas como *pequeñísimas esferitas duras* en el interior del modelo atómico estaría mezclando las teorías cuánticas con matices clásicos. Si se asume que el mundo de lo *infinitesimalmente pequeño* no tiene paralelismo con nada de lo que pudiera ser percibido en lo *inmensamente grande*, entonces con aquél enfoque se estaría distorsionando y, por ello, posiblemente también, renunciando a una adecuada aproximación de la vida oculta del átomo.

¿Cuál será el modelo más adecuado que se aproxime a una representación *real* del átomo? Uno de los aportes más importantes, relacionados con los primeros pasos encaminados a renovar la imagen pseudoclásica del átomo de Bohr, fue realizada por Einstein en 1916. En un acto meramente creativo, pudo calcular la probabilidad de que un átomo pasara de un estado de energía *n* a uno de menor energía, haciendo una analogía con las tablas estadísticas, ya elaboradas en ese momento para la desintegración radioactiva. Esta idea ayudó a Bohr para refinar su modelo atómico, permitiéndole justificar el porqué algunas de las líneas del espectro de emisión del átomo aparecen más pronunciadas que otras. Según él, algunos estados energéticos en el átomo son *más probables* que otros; pero no fue capaz de explicar el porqué de este hecho⁶.

Editores, (1992), pp. 98-115.

⁵ Cf. Crisafulli, F., “¿Átomos + Vacío = Materia?”, Maturín, IPM, *La nueva revista del profesor de física*, vol. III, (2008), N° 1, pp. 14-15.

⁶ Cf. Mashaal, M., “Los Átomos”. *Mundo Científico*, La Recherche, (1997), N° 182, p. 782.

Además, no existía ninguna razón, en particular, para que en un instante preciso del tiempo ocurriera una transición en el estado energético del átomo. El nivel de energía más bajo era el más propenso a ser ocupado por el electrón, debido a ello, cuantitativamente, era bastante probable que en algún momento éste efectuara un salto, desde cualquier nivel energético “*n*” hasta el nivel *basal*, sin que existiese ninguna regla que determinara el momento de esa transición.

Aunque los científicos hicieron lo posible por refinar la teoría de la física cuántica entre la segunda década del siglo XX hasta la primera mitad de los años 20’, con lo cual perseguían apartarse en lo posible de las ideas clásicas, aún persistía ese lastre para explicar la fenomenología asociada a una estructura corpuscular del átomo.

3. *Dualidad onda-partícula*

Después de la propuesta de Einstein en 1905, sobre la dualidad *onda-partícula* de la luz, la cual explicaba el fenómeno conocido como *efecto fotoeléctrico*, haciendo un paralelismo entre el modelo ondulatorio de la luz y el comportamiento corpuscular de la materia, De Broglie, en 1923, completó el círculo proponiendo la naturaleza dual de la materia, mediante los modelos corpuscular y ondulatorio. Su labor estaba dirigida a continuar la renovación del modelo atómico de Bohr, cuya contribución consistió en tratar de validar el curioso modo en que los electrones ocupan los distintos niveles de energía dentro del átomo. Las órbitas permitidas, que se encontraban relacionadas con números enteros eran, hasta ese momento, una propiedad que pertenecía al ámbito ondulatorio para los *modos normales* de vibración e interferencia, ese hecho le permitió asociar los electrones con lo que Einstein llamó *ondas de materia*⁷.

La *longitud de onda*, atribuida al movimiento de los electrones, se determinó mediante la misma relación matemática utilizada por Einstein para los fotones: $\lambda = h / p$, donde “*h*” es el la *constante de Planck* y “*p*” el *momentum lineal* de la partícula. La correspondencia de los nodos de una *onda estacionaria* con un número entero “*n*” de *longitudes de onda*, ajustadas sobre el modelo de órbita circular del átomo de radio “*r*”,

⁷ Cf. Mashaal, M., “El Electrón”, *Mundo Científico*, La Recherche, (1995), N° 163, pp. 1100-1103.

está dado por la ecuación: $2\pi \cdot r = n \cdot \lambda$ logró justificar teóricamente la *cuantización de la energía* en el modelo atómico de Bohr, indicado por: $E_n = -\frac{e^2}{(n^2) \cdot 8\pi_0 \cdot a_0}$; donde “e” representa el valor de la carga elemental, “ a_0 ” equivale al radio atómico del hidrógeno en el estado *basal* de energía, “ ϵ_0 ” está referido a la constante de *permitividad eléctrica* en el vacío y “n” es el número entero asignado para el estado energético del átomo⁸.

La dualidad *onda-partícula*, aplicada al tratamiento, tanto de la *luz* como de los *corpúsculos materiales* del microcosmos, introduce un ingrediente que complica la *certidumbre* sobre la naturaleza de ambas entidades físicas, tal que origina una pregunta inevitable: ¿qué son realmente los electrones para el átomo, ondas o partículas?

El *principio de complementariedad* de Bohr intentó resolver con ciertas limitaciones ese dilema. “No es posible describir observables físicos (*posición, velocidad, momentum y energía*) simultáneamente en términos de partículas y ondas”⁹.

La elección del modelo a ser utilizado para el tratamiento de los electrones u otra entidad subatómica, según ese postulado, dependía de las condiciones experimentales existentes durante el estudio del fenómeno en cuestión. Las pruebas empíricas constituyen una buena guía para orientar la selección del modelo más apropiado relacionado con el fenómeno en estudio, entre las cuales pueden mencionarse la capacidad de los electrones para generar patrones ondulatorios de *interferencia* en las dobles rejillas de *difracción*, resultado obtenido por Davisson-Germer y George Thomson en 1927¹⁰. Esta propuesta circunstancial, indudablemente afianza el dilema que versa sobre la imprecisión para conocer la naturaleza de la entidad física, manifiesta en el escenario cuántico.

¿Por qué perdura el modelo dual *onda-partícula* para explicar el comportamiento de la materia a nivel microscópico? Probablemente, la respuesta está sustentada en dos (2) razones igualmente válidas. En

⁸ Cf. Baiser, A., *Conceptos de física moderna* (2ª ed.), México, McGraw-Hill, (1977), pp. 122-128.

⁹ García, V., *Introducción a la física cuántica*, Venezuela, Ediciones Cursos de Postgrado en el Aprendizaje y la Enseñanza de la(s) Ciencia(s), Facultad de Ciencias - Universidad de los Andes, (2007), p. 170.

¹⁰ Cf. Louis De Broglie, “Materia y Luz”, en Heisenberg, W. (Coord.), *La Imagen de la Naturaleza Actual* (3ª ed.), España, Orbis, (1985), p. 147.

primer lugar, por la manifiesta persistencia de las ideas clásicas frente a los eventos cuánticos, los cuales no tienen parangón con la experiencia ordinaria a nivel macroscópico y, en segundo lugar, simplemente, por la carencia de un mejor modelo que sea capaz de explicar el comportamiento de todas esas entidades físicas a escala sub-atómica.

4. *Origen de la Mecánica Cuántica*

La física cuántica se encontraba a comienzos de 1925 en una encrucijada. Aunque De Broglie había aportado la base teórica para justificar la *cuantización de la energía* en el átomo de Bohr, todavía existía una serie de problemas que la agobiaban. Heisenberg falló en la determinación de la estructura del átomo de helio. Einstein comenzó a dudar del papel de la probabilidad en el comportamiento cuántico del átomo. La solución de muchos problemas partía de un planteamiento puramente clásico, de modo que, en cierto punto del razonamiento, se introducían los números cuánticos *por tanteo*. Parecía que la teoría cuántica estaba a punto de sufrir una muerte súbita, ya que no mostraba visos de autonomía y tampoco era lógicamente consistente¹¹.

Sin embargo, ocurrió irremediamente, entre 1925 y 1926, un cambio fundamental para la teoría cuántica, llamado aquí: *El segundo salto cuántico*¹², debido a que la brecha fue zanjada, inesperada y radicalmente, por la incorporación de dos (2) propuestas completas, autónomas y consistentes, cuyas formalidades matemáticas implicaban, aparentemente, una separación entre esta teoría, relativamente nueva, y las ideas clásicas para explicar el comportamiento de la materia, basado en un modelo atómico.

La primera propuesta de Heisenberg, Max Born y Pascual Jordan en julio de 1925, presentaba un modelo formalmente coherente y completo llamado la *formulación matricial de la mecánica cuántica*, cuya

¹¹ Cf. Gribbrin, J., *En busca del gato de Schrödinger*, España, Salvat, (1986), pp. 83 – 84.

¹² El autor introduce la etiqueta de *Segundo salto cuántico* con la finalidad de brindar una imagen del cambio drástico sucedido entre finales de (1925) y el año (1926), en contraste con las ideas preliminares de la teoría cuántica acumuladas desde (1900). La denominación de *Segundo* continúa la secuencia iniciada por el libro de De la Peña (1979), en donde aparece un capítulo titulado: *Planck: El primer salto cuántico*, p. 28; y sin que vuelva a hacer otra referencia a algún otro salto de eventos en el relato sobre la historia del desarrollo de esta teoría.

matemática no apuntaba a describir un estado particular del átomo o del electrón, sino la asociación entre pares de estados de una partícula. El tratamiento entre dos estados del átomo se realiza por operaciones algebraicas *no conmutativas* entre *matrices* “*p*” y “*q*”, las cuales representan las variables equivalentes al *momentum* y a la *posición*, respectivamente, de las entidades cuánticas en el mundo sub-atómico, expresado en la ecuación: $p \cdot q - q \cdot p = \hbar/i$; donde “ \hbar ” representa el valor de la constante de Planck “ h ” dividido entre el valor de 2π e “ i ” equivale a la raíz cuadrada de -1 ($i = \sqrt{-1}$)¹³.

Entre tanto, la segunda propuesta salía de la respuesta a la pregunta: ¿qué sucedía con la premisa de De Broglie, acerca de tratar a los electrones como ondas? Edwin Schrödinger respondió en 1926, independientemente, a los tres (3) científicos anteriores, produciendo un formulismo matemático basado en la Mecánica Ondulatoria, cuyo fin era rescatar las ideas de la Física Cuántica comprendidas en términos de conceptos físicos familiares: *los electrones son ondas*. Su planteamiento introducía un esquema práctico para tratar situaciones cuánticas en términos de las concepciones cotidianas de la física clásica¹⁴.

Muchos físicos experimentales de la época, como Schrödinger, consideraban que las soluciones, llamadas *funciones de ondas* (ψ), provenientes de ese formulismo, planteado a través de su *ecuación de onda*: $i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \hat{H} \psi$, donde “ \hat{H} ” es el operador hamiltoniano; correspondían a *ondas reales* asociadas a la partícula cuántica estudiada¹⁵.

Un dilema se originó de inmediato: ¿qué era lo que realmente ondulaba en el átomo? Esas ondas presentes en las soluciones producían la cómoda ilusión de ser algo familiar, pero resultaron ser tan abstractas como las variables matriciales de Heisenberg y compañía, de tal modo que representaban vibraciones complejas en un espacio matemático imaginario llamado *Espacio de fases*¹⁶.

¹³ Cf. De la Peña, L., *Introducción a la Mecánica Cuántica*, México, CECSA, (1979), p. 224.

¹⁴ Cf. Eisberg, R. y Resnick, R., *Física Cuántica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos y Partículas* (3ª ed.), México, Limusa-Weley, (2008), pp. 159-167.

¹⁵ Cf. Hawking, S., *El Universo en una Cáscara de Nuez*, España, Crítica/Planeta, (2002), p. 107.

¹⁶ Cf. Gribbrin, J., *En busca del gato...*, cit., p. 99.

Max Born le asignó una nueva interpretación a las *Ondas de Schrödinger* (ψ) para asociarla con la existencia de partículas cuánticas como el electrón. La intensidad de la onda, a través del valor $|\psi|^2$, representaba cuantitativamente la probabilidad de hallar al corpúsculo en un punto del espacio, mediante un proceso de medición en un experimento. También, se puede asociar con la intensidad de la onda, interpretaciones probabilísticas de otros *observables físicos* (momentum, energía, etc.) para distintas partículas cuánticas: neutrón, partícula- α , etc.¹⁷

En 1927 se le sumaría a este cuadro confuso del mundo microscópico el *Principio de incertidumbre de Heisenberg*, deducido a partir de las ecuaciones fundamentales de la mecánica cuántica, cuya función es la de condicionar la precisión de las medidas de aquellas cantidades que son seleccionadas para describir las propiedades de las entidades fundamentales del microcosmos. Éste expone la imposibilidad empírica para medir simultáneamente una pareja de *observables físicos*, llamados *magnitudes conjugadas*, con una precisión menor a “ $\hbar/2$ ”. Matemáticamente se expresa con las relaciones: $\Delta q_x \cdot \Delta p_x \geq \hbar/2$ ó $\Delta E \cdot \Delta t \geq \hbar/2$; donde “ Δ ” representa la incertidumbre de la medida para las magnitudes físicas citadas: “ p_x ”, “ q_x ” (*momentum* y posición en la dimensión del eje x) y “E”, “t” (energía y tiempo), respectivamente¹⁸.

Las relaciones matemáticas, del párrafo anterior, funcionan como restricciones formales sobre situaciones de pruebas empíricas, el incremento de la precisión para medir alguno de los *observables* generará, automáticamente, un menor grado de certeza para el registro de su pareja correspondiente.

Si la *Función de onda* (ψ) que evoluciona en el tiempo, según la *Ecuación de onda de Schrödinger*, describe una serie de *valores probables* para el estado futuro de la entidad cuántica, en este caso el *electrón*, formando parte de un sistema físico como el *átomo*, entonces las adecuaciones empíricas que se hagan para evaluar esas cantidades (posición y momentum, o energía y tiempo, etc.), cuando se mide una de las magnitudes de esas duplas en un experimento, por ejemplo “ q_x ”, entonces

¹⁷ Cf. Cruz, D., Chamizo, J. y Garritz, A., *Estructura Atómica. Un Enfoque Químico*, México, Addison-Wesley Iberoamericana, (1987), pp. 393-402.

¹⁸ Cf. Serway, R. y Jewett, J., *Física para Ciencias e Ingeniería*, vol. 2 (7ª ed.), México, Cengage Learning, (2008), pp. 1175-1176.

el resultado de su *par conjugado*: “ p_x ”, estará *controlado* por el Principio de incertidumbre. Este último funciona como una regla prescriptiva, propia del formulismo de la teoría cuántica, y no por alguna deficiencia del mismo experimento¹⁹.

5. *Un microcosmos indescifrable*

Todo ese formulismo se encontraba divorciado de las analogías clásicas. Los conceptos matemáticos, referidos a las dos (2) ecuaciones fundamentales de la mecánica cuántica, eran tan abstractos que cobraban sentido en el mundo sensible, sólo cuando los registros de los instrumentos de medida eran interpretados en el momento de las observaciones de un experimento, imposición propuesta por Niels Bohr a finales de 1926.

Además, las complejidades subyacentes en la concepción dual *onda-partícula* de De Broglie y la interpretación probabilística de la *Función de onda* (ψ), como solución de la *Ecuación de Schrödinger*, generaron un panorama incierto, tanto por la naturaleza de las entidades subatómicas, como por las características aleatorias de las correspondientes magnitudes físicas que pretenden describirlas.

Aparentemente, esta teoría que se viene desarrollando desde la segunda década del siglo XX, como *modelo de explicación* del comportamiento de la materia, sugiere que, en la escala atómica, nada es real y no se puede decir nada sobre lo que ocurre, hasta que sea observado experimentalmente. Esto justifica una seria interrogante: ¿qué hay realmente en el mundo cuántico, si sólo mediante un experimento específicamente diseñado puede registrarse la existencia de *algo*, comportándose de cierto *modo*?

En primer lugar, ante esa duda, puede darse una respuesta tentativa que pone a prueba, tanto la naturaleza dual como el comportamiento aleatorio del electrón en el átomo para el escenario de la situación experimental. Las condiciones restrictivas para las mediciones, establecidas por el *Principio de Incertidumbre*, posibilita una superposición de la naturaleza *dual* de las entidades cuánticas, cuyas formas de manifiesta-

¹⁹ Cf. Carnap, R., *Fundamentación lógica de la física* (2ª ed.), España, Orbis, (1985), pp. 241-248.

ción deberían ser únicas, según la limitación establecida por el *Principio de complementariedad*.

En el tratamiento de las parejas de *observables físicos* se mezcla, tácitamente y espontáneamente, la naturaleza dual de la materia, cuando se trata de explicar los eventos del mundo microscópico en el ámbito educativo, para la formación universitaria de la nueva generación de científicos, hecho que puede verificarse a través de una consulta a la literatura especializada que ha sido elaborada por físicos para la enseñanza de la física cuántica en carreras de ciencias básicas e ingeniería²⁰. La revisión permite constatar que esos expertos del área de la física, actualmente, cuando aplican el *Principio de incertidumbre* en sus explicaciones para la misma entidad física, que participa en una experiencia empírica, tratan generalmente a la primera pareja de *observables*, presentando a la posición (q_x) como una propiedad corpuscular, mientras que al momentum (p_x) como una propiedad ondulatoria, hecho que contrasta con la única y exclusiva naturaleza que debe ser atribuida a ese objeto, durante el tratamiento formal exigido por la teoría, a través del *Principio de complementariedad*²¹.

En segundo lugar, es necesario considerar que el proceso de la observación con un aparato de medición, en una situación experimental, incorpora una interferencia en el estado de los procesos atómicos, cuya transformación crea una distorsión, tanto en las medidas de los *observables* como en la descripción de la auténtica naturaleza de las entidades cuánticas²².

Ese problema fue abordado por Bohr en 1926, quien decía que no tenía sentido preguntarse sobre el comportamiento de los átomos cuando no son observados, planteamiento que se basaba en las conclusiones de M. Born, el cual sostenía que, mientras no se efectuara nin-

²⁰ Esa consulta cubrió a algunos textos disponibles para universidades venezolanas, destinados a iniciar estudios de la Teoría Cuántica, ofrecidos por diversas casas editoriales, y los cuales han sido citados al final, en la sección correspondiente a las Referencias Bibliográficas, entre los que están: Acosta y otros 1975, Baiser 1977, Cruz y otros 1987, De la Peña 1979, Eisberg y Resnick 2008, García 2007, Serway y Jewett 2008.

²¹ Cf. Steinberg, R. y otros, *The Influence of Student Understanding of Classical Physics When Learning Quantum Mechanics*, (1999). Consultado el 11 de Marzo de (2008) en: web.phys.ksu.edu/papers/narst/QM_papers.pdf.

²² Cf. Diéguez, A., *Realismo Científico*, España, Ex Libris, (1998), pp. 45-52.

guna medición del sistema microfísico, éste evolucionaría únicamente como una superposición de estados probables, de modo que una vez que se realiza el proceso de medición del sistema, entrando en contacto con el instrumento de observación, se obtendría uno sólo de los estados posibles²³.

En otras palabras, las propiedades de las entidades cuánticas, como es el caso de los electrones en el átomo, deberán ser descifradas únicamente durante un proceso de medición de las magnitudes físicas asociadas durante el trabajo experimental. Esta solución, propuesta por Bohr, fue más una imposición convencional que un condicionamiento implícito en la formalidad matemática de la teoría, lo cual empaña el cristal con el que se quiere mejorar la interpretación de ésta, abonando dudas razonables a la larga lista de incomprensiones del profano, entre las cuales pudieran estar: ¿cómo se entiende a uno de esos entes en este tratamiento matemático?, ¿son *reales* o accesorios instrumentales para darle sentido a la matemática que será utilizada durante la observación experimental? Cuestionamientos parecidos a éstos hicieron, también, difícil que los físicos de aquellos tiempos prefirieran la teoría cuántica naciente²⁴.

En tercer lugar, hay que señalar que las magnitudes físicas utilizadas para la descripción de los procesos a nivel cuántico, como el *momentum*, la longitud de onda, etc. fueran definidas en el ámbito de la fenomenología cotidiana del mundo macroscópico, por lo tanto, podría suceder una de dos (2) cosas: a) que no tuvieran el mismo significado en ambas escalas dimensionales, o b) que ni siquiera tengan sentido para las descripciones de los procesos atómicos. La última opción, estaría en sintonía con la probabilidad de que ambos mundos sean totalmente distintos e incompatibles para las percepciones ordinarias, entonces habría que considerar la posibilidad para definir nuevas cantidades para describir el microcosmos.

Y, en cuarto lugar, todas estas razones terminan formulando una interrogante fundamental: ¿cómo reconciliar, la visión certera que

²³ Cf. Wallace, D., "Epistemology Quantized: circumstances in which we should come to believe in the Everett interpretation", *British Journal for the Philosophy of Science*, 2006, N° 57, pp. 665-666.

²⁴ Cf. Omnés, R., "Una Nueva Interpretación de la Mecánica Cuántica", *Mundo Científico*, La Recherche, 1995, N° 163, p. 1035.

brinda el mundo sensible de los humanos, con otro que muestra un comportamiento aleatorio de los átomos que constituye ese mundo, y que, además, presenta a estas entidades como inobservables? Este problema apunta, no a las dificultades de comprensión acerca del formalismo matemático de esta teoría, sino a la complejidad del mundo a escala microscópica, justo en el centro de la estructura de la materia, cuya dinámica, probablemente, no está ni debidamente interpretado por esos modelos matemáticos, ni tampoco, adecuadamente representado por un átomo que se presenta compuesto por elementos como el electrón, neutrón y protón, entre otros.

Este último planteamiento tiene cierto paralelismo con la experiencia cotidiana de mojar un trozo de tela en el agua de alguna playa. Posiblemente, el mundo microscópico, puede compararse con el mar, mientras que toda la teoría cuántica puede equipararse con el modelo que permite explicar y cuantificar los diversos o probables grados de humedad, que pueden empapar al trozo de tela, y el acto de mojar un paño específico de tela se asemeja a la prueba empírica para contrastar el modelo con los hechos. Toda explicación de la situación experimental, mediante la teoría, sólo representará una interpretación del resultado de mojar la tela en agua marina, sin que ésta tenga nada que decir sobre la estructura y dinámica interna de la masa acuífera del océano.

Sin embargo, hay que reconocer que, pese a este reduccionismo drástico, desconcertantemente, esta teoría ha tenido un rotundo éxito en el desarrollo de toda la tecnología contemporánea para fines industriales, comerciales y médicos, e incluso destructivos.

6. *A manera de conclusión*

Los problemas señalados en la teoría de la física cuántica, hasta un poco más allá de la segunda mitad de la década de los años 20', del siglo XX, plantea un desafío para el refinamiento del modelo atómico. Específicamente, la teoría cuántica de la época no dice lo que son esas entidades sub-atómicas, ni dan cuenta de lo que acontece en el átomo, mientras no se les observa. Las recetas matemáticas, vinculadas a esta teoría, sólo proporcionan un conjunto de estados probables, tal que alguno se concreta en el momento de la observación experimental.

Frente a este panorama, la *física* se encuentra en una encrucijada, ya que el átomo y sus procesos se presentan como algo desconocido a la experiencia cotidiana de los entusiastas por esta ciencia y la única pista disponible es que todo esto parece señalar que aun no ha acabado este viaje y el camino a seguir va a depender sólo de las preguntas correctas que se hagan acerca de ese mundo secreto de los átomos.

Según las interpretaciones que hiciera Kuhn, inspiradas en su estudio acerca de la historia de las teorías científicas, probablemente una de las sendas por donde está transitando la teoría cuántica sea aquella que está marcada por una sucesión de dudas razonables que, tarde o temprano, impulsarán cambios similares a las que han experimentado todas las concepciones científicas acerca del mundo y su funcionamiento. Solo hay que recordar algunos hechos, como aquella idea aristotélica del cielo estructurado por esferas cristalinas perfectas que fue abandonada por la astronomía medieval o de aquella imagen del *flogisto*, concebido como un fluido conservado en lo que se llamó *el calórico*, los cuales fueron dejados atrás por los nuevos conceptos y las leyes de la termodinámica²⁵.

Entonces la cuestión aquí no debería ser preguntarse sobre la realidad del átomo y de sus correspondientes sub-entidades constituyentes, condicionado por los modelos que sustentan a la Teoría Cuántica desde principios del siglo XX, sino que, posiblemente, será necesario renunciar a las concepciones clásicas, que hasta ahora han interferido, para aproximarse a una descripción pertinente sobre el comportamiento de sus procesos, en cuyo caso, podría generar un gran beneficio en el avance en la ciencia, especialmente, si auspicia la generación de un nuevo modelo explicativo de la materia y sus interacciones; lo cual implicaría en el contexto de la Física, un nuevo *salto cuántico*.

Universidad de Oriente
crisafulliii@yahoo.es

²⁵ Cf. Alonso, L., "Realismo Científico. De la Física a la Metafísica", *Investigación y Ciencia*, Edición en español de *Scientific American*, 2008, Nº 382, p. 96.