

ARTÍCULO

TEORÍA CUÁNTICA

Entrevista con el Dr. Luis de la Peña

Teoría cuántica

En entrevista, el Dr. Luis de la Peña nos hace ver, desde la perspectiva histórica, la sacudida intelectual que significó en su momento el descubrimiento de leyes universales que rigen los movimientos en los cielos y en la Tierra. La teoría de la relatividad le agrega coherencia a la mecánica newtoniana, al explicar el significado profundo de la ley de gravitación. De igual manera, la teoría cuántica abre las puertas a un conocimiento más profundo e íntimo de la materia.

La física atómica y molecular, la del estado sólido, la nuclear, la estadística cuántica y la de las partículas elementales, entre otras, como ramas de la física actual, tienen como base la mecánica cuántica. Otras ciencias, como la biología molecular o la astrofísica, se nutren de los avances de esta teoría. Hoy, la aplicación del conocimiento cuántico ha traído consigo, entre otros, las computadoras de todos tamaños, el teléfono móvil, el sistema GPS y hasta el reproductor de discos compactos, refiere el doctor de la Peña.

La física cuántica es un gran edificio teórico, con multitud de soportes. Sin embargo y aunque parezca sorprendente, afirma el doctor de la Peña, se ha enfrentado a problemas conceptuales desde su aparición, y plantea preguntas aún no resueltas. Ello explica la aparición de teorías alternas a la interpretación ortodoxa, que exploran el fenómeno cuántico desde un nivel más profundo. En este contexto se desarrolla la física cuántica emergente, cuyo valor principal es la perspectiva novel y valiosa que ofrece sobre el fenómeno de cuantización. En particular, el grupo del Dr. de la Peña ha demostrado que la acción del campo de radiación de punto cero sobre la materia atómica da lugar a su peculiar comportamiento cuántico, es decir, que éste es emergente y no innato.

Revista Digital Universitaria: ¿Cómo son vistos, desde la física moderna, los grandes avances de la física clásica, como la teoría heliocéntrica, las leyes de Kepler, la teoría de la gravedad y el principio de la relatividad?

Luis de la Peña: Es interesante la pregunta desde dos perspectivas muy diferentes.

Por un lado la pregunta recoge temas de amplia envergadura, referidos a ese gran capítulo de la física newtoniana, la física celeste y su explicación del orden y la legalidad que rige en nuestro sistema planetario. Haber descubierto que hay leyes simples que gobiernan el movimiento de los planetas, representa una de las grandes hazañas del intelecto humano. Atados como hemos estado a nuestro pequeño planeta, por el análisis atento y cuidadoso de las posiciones sucesivas

de los planetas y algunas de sus lunas, se llegó a entender que no es la mano de un dios la que los mueve, sino una ley de la naturaleza, una misma ley que opera allá en los cielos y acá en la Tierra. La sacudida intelectual y cultural que esto significó para el hombre y su comprensión de la naturaleza, condujo a uno de los resultados más poderosos de la ciencia, de efectos de más largo y profundo alcance.

La teoría de la relatividad representa, entre otros significados, una profundización de la ley de la gravitación, que agregó coherencia a la física clásica, al eliminar de ella las acciones a distancia y permitimos entender desde una perspectiva muy fundamental el significado profundo de esta fuerza. En la física newtoniana la gravitación aparece como un parche, algo añadido a mano simplemente para reproducir de manera apropiada las órbitas elípticas observadas. En la relatividad, ella radica en la esencia misma de la estructura del espacio y el tiempo.

Su segunda faceta hace a esta pregunta aun más interesante. Todos los ejemplos citados (teoría heliocéntrica, las leyes de Kepler, la teoría de la gravedad, salvo el principio de la relatividad) se refieren a la mecánica newtoniana. Pero la física clásica es mucho más que eso. Dos grandes teorías de naturaleza no mecánica, parte muy importante de ella, son la termodinámica y la teoría electromagnética. Estas dos teorías eliminan el carácter mecanicista que durante algún tiempo alimentara la física clásica, al incorporar en ella la teoría del calor y el concepto generalizado de energía y, junto con los fenómenos electromagnéticos, la noción de campo, que viene a ampliar de manera muy fundamental, la concepción física de los ingredientes que componen el mundo físico.

RDU: ¿Cuáles son las principales contribuciones, aplicaciones y aciertos de la teoría cuántica?

LP: La teoría cuántica es, por decirlo en términos simples, la física de los átomos y las moléculas. Crear la teoría cuántica significó abrir las puertas al conocimiento íntimo de la materia, y todo lo que ello implica. La mecánica cuántica ha representado la posibilidad de contar con la base requerida para la construcción de la mayoría de las ramas de la física actual, como son la física atómica y molecular, la del estado sólido, la nuclear, la estadística cuántica, la de las partículas eufemísticamente llamadas elementales, etc. En otras palabras, la mecánica cuántica es para la física actual lo que la mecánica newtoniana representa para la física clásica, el sustrato fundamental. Y esto ha trascendido a otras ciencias. Por ejemplo, en años recientes ha surgido toda una nueva biología de base física, la biología molecular, lo que ha generado una profunda transformación de esta ciencia. Algo similar ha sucedido con la astrofísica, cuya reciente simbiosis con la física de altas energías ha dado resultados espectaculares para nuestro conocimiento

de la evolución del universo a partir de instantes extraordinariamente próximos al inalcanzable momento de su creación, empleando un término usual, aunque un tanto peligroso, pues parece sugerir un grandioso evento que elude el marco de la ciencia.

Más allá de sus muy variadas aplicaciones científicas, la mecánica cuántica ha conducido a un extenso número de aplicaciones y resultados que forman ya parte de nuestra vida y actividad cotidiana. Baste mencionar la moderna computación, basada en la física del estado sólido, o las telecomunicaciones, otro resultado de la microelectrónica de estado sólido, para percibir el alcance de esta afirmación. Hoy se ha convertido en natural traer el móvil en el bolsillo, al lado del receptor gps, o del reproductor de discos compactos, si no los tres. Todos estos y otros productos son el resultado directo de la aplicación del conocimiento cuántico. De hecho, el mercado internacional contemporáneo tiene una componente económica central en lo relacionado con la computación y las tecnologías de estado sólido.

RDU: ¿Cuáles son los principales problemas a los que se enfrenta la teoría cuántica?

LP: Desde su nacimiento la física cuántica se encontró con importantes problemas conceptuales. Esto puede parecer sorprendente, e incluso incomprensible. ¿Cómo es posible que una teoría enormemente exitosa y productiva, con 80 años de vida, pueda tener problemas conceptuales? La razón de esta extraña situación se encuentra en el complejo proceso que le dio vida.

El meollo del problema se encuentra en que se trata de una física compleja, muy matematizada y abstracta, y que estudia sistemas que, por sus dimensiones ultramicroscópicas, no podemos conocer sino a través de la propia teoría. A esto debe añadirse, para no hacer recaer toda la culpa en la naturaleza, que la mayoría de los físicos que generaron la teoría cuántica compartía una visión filosófica lejana al realismo característico de la ciencia. Ellos imprimieron su sello personal en buena parte del sistema interpretativo de esta teoría. Me explico. El aparato matemático de una teoría física es simplemente un conjunto de símbolos que satisfacen ciertas reglas lógicas. Para que tal sistema pueda referirse a la naturaleza se hace necesario interpretar sus símbolos no lógicos, es decir, ponerlos en correspondencia uno a uno con elementos o propiedades físicas del sistema analizado. En eso consiste la interpretación. Pero no hay reglas fijas para establecer tal correspondencia, por lo que la intuición y la filosofía del intérprete modulan de manera importante el proceso interpretativo.

El problema central relativo a la mecánica cuántica es que su cuerpo teórico entra en severo conflicto con el resto de la física y, de manera muy particular, con la física clásica toda. Pareciera

que la naturaleza tiene dos vertientes, una clásica y una cuántica. O bien, si se prefiere, pareciera que la física actual se refiere a dos mundos diferentes. Es muy interesante que los físicos se las han arreglado muy bien para convivir con esta esquizofrenia. A pesar de ello, tal dualidad es extraña al propio cuerpo teórico de la física actual, uno de cuyos esfuerzos de investigación más intensos es la búsqueda de un modelo unificado de todas las fuerzas de la naturaleza. Así, mientras un sector muy amplio de físicos busca alcanzar una visión unificada del mundo microscópico, otro sector de la física nos invita a ver comportamientos excluyentes entre el mundo de lo ultramicroscópico y el macroscópico.

Es un hecho que la mayoría de los físicos no muestran insatisfacción con este estado de cosas. Es más, con frecuencia ni siquiera lo reconocen, o incluso lo niegan. Pero tampoco mostraban insatisfacción alguna con el estado anómalo de cosas en el que Einstein metió mano a principios del siglo xx y produjo la teoría de la relatividad. Esta aceptación tiene varias razones de ser. Una es que los conformes han sido educados dentro de esta física, la han asimilado y la hallan satisfactoria dados los resultados que proporciona. A este habitual pragmatismo debe agregarse el desinterés generalizado por el tipo de problemas a que nos hemos referido: si una teoría es realista y objetiva o no lo es, es asunto que deja impávida a la mayoría de los físicos, y si acaso percibe el problema, no le inquieta mayormente. Y se da la dicotomía: la visión positivista que impregna la física cuántica es aceptada acríticamente cuando del mundo microscópico se trata, ya que carecemos de otra visión a priori, pero no se le aplica al mundo clásico de nuestra experiencia cotidiana. Un par de ejemplos puede arrojar luz sobre el alcance de esto. La física cuántica más actual afirma que un átomo puede ocupar simultáneamente dos lugares diferentes; asimismo afirma que un electrón no posee posición definida en el espacio sino hasta el momento en que se le observa. No es que los físicos crean en milagros; sus creencias cuánticas tienen una base sólida, resultan de una forma de leer un complejo y extraordinariamente exitoso aparato matemático. Y con tales lecturas se obtienen excelentes resultados. Luego el físico adquiere plena confianza en lo que le dice la teoría. El quid de todo esto reside en lo difícil que resulta balancear los resultados de una gran teoría y los tropiezos de índole conceptual y filosófica a que conduce.

RDU: ¿Cuáles son los dos pilares fundamentales de la física cuántica?

LP: Es muy difícil hablar de dos pilares como soporte de la física cuántica. La física cuántica es un gran edificio teórico, y tiene por lo tanto una multitud de soportes. Seguramente cada físico escogería de entre ellos aquellos dos que en el momento de su selección tuviera más vivos. Ahora bien, si se insiste en la pregunta, yo diría en términos muy generales que tales dos pilares

fundamentales son la consistencia interna del aparato matemático cuántico y su impresionante correspondencia con los resultados que se observan en el laboratorio; es decir, la magnificencia de su aparato matemático y la veracidad de sus predicciones, las que constituyen un verdadero arsenal.

RDU: ¿En qué consiste la física cuántica emergente?

LP: Esta es una pregunta muy actual. Búsquedas de la solución de los problemas que afronta la física cuántica ha habido desde el nacimiento de esta teoría. Para no ir más lejos, la primerísima teoría cuántica moderna que se elaboró (por el físico francés Louis de Broglie) representaba ya una alternativa objetiva y causal a la teoría cuántica que estaba en proceso de construcción por otros físicos, particularmente W. Heisenberg y E. Schrödinger. Así que interpretaciones y lecturas diversas de esta teoría las ha habido desde los inicios, y siguen apareciendo. Ello es una muestra de insatisfacción con la versión usual de la teoría por parte de un sector no despreciable de físicos. Que no es despreciable tal sector, aunque sea relativamente pequeño, se reconoce recordando que entre los críticos de la mecánica cuántica como se le practica (ortodoxa o de Copenhague son algunos de sus nombres) se encuentran varios de sus propios fundadores, como Einstein, Schrödinger, de Broglie, Lande, etc. E incluso entre físicos ortodoxos de primera línea, como Dirac o Feynman, se encuentran expresiones que muestran alguna forma de descontento.

Varias de las teorías alternas a la interpretación ortodoxa de la mecánica cuántica que han aparecido en los últimos años han conducido a la conclusión de que el fenómeno cuántico no es innato a la materia, sino el resultado de algún efecto que opera sobre ella y le imprime su sello tan particular. Quizá por conocerla mejor y sentirla más cerca de mí, creo que el grupo que más claramente ha establecido esto como una conclusión firme, producto de una teoría sólidamente fundada, es el nuestro, en el Instituto de Física de la UNAM.

Lo que nuestro grupo ha elaborado es una teoría fundamental de la teoría cuántica, basada en el reconocimiento de la realidad del campo electromagnético llamado de punto cero (es decir, el que existe en todo punto del espacio a temperatura absoluta cero). Este campo se encuentra en permanente interacción con la materia y afecta particularmente a los electrones atómicos. A lo que se llega es a la demostración de que esta interacción da lugar a la aparición del comportamiento cuántico de los electrones atómicos. En otras palabras, se muestra que el fenómeno cuántico atómico emerge como resultado de la interacción átomo-campo de fondo. Las cosas van más lejos, sin embargo. Hemos podido demostrar que este fenómeno es aun más general, pues las propiedades cuánticas del propio campo de radiación (es decir, del campo electromagnético) a su vez emergen como resultado de la misma interacción materia-campo. Es importante precisar que cuando nos referimos dentro de este contexto a la teoría cuántica, tenemos en mente no

solo la mecánica cuántica, sino una teoría más general, la llamada electrodinámica cuántica. El punto está en que la teoría propuesta conduce de manera natural a toda una serie de resultados que hasta la fecha han sido considerados provincia exclusiva de la electrodinámica cuántica. Una virtud adicional de esta teoría tan general es que disuelve los problemas conceptuales a los que nos hemos referido, al proporcionar una descripción causal, objetiva, local y realista del mundo cuántico. Todo esto hace que, pese a ser ella misma una teoría cuántica, sea a la vez plenamente consistente con la visión que del mundo físico proporciona la física clásica.

También es cierto que hay aun mucho por desarrollar dentro de la teoría propuesta. Hasta la fecha nos hemos restringido a su versión no relativista. Hay otro terreno aun por estudiar y que parece muy prometedor. Sucede que la teoría cuántica emerge como la descripción asintótica y aproximada de la formulación teórica inicial (para tiempos arbitrariamente breves). El proceso intermedio, que no es ni estrictamente clásico ni estrictamente cuántico, representa obviamente una física totalmente desconocida. Aquí y en otros temas hay terreno para mucho trabajo y seguramente muchas sorpresas.

RDU: ¿Cuáles son los campos de aplicación de la física cuántica emergente?

LP: Más que sobre campos de aplicación podríamos preguntarnos por el valor e interés de una teoría de este tipo. El valor principal estriba en que ofrece una perspectiva teórica novel y valiosa sobre la teoría cuántica. Al dar respuesta clara a las preguntas de fondo sobre el significado del fenómeno cuántico debe permitir avanzar con mayor seguridad sobre importantes terrenos hoy en exploración, como es la unificación de las teorías cuántica y de la relatividad. Por otro lado, se ha ya señalado que la nueva formulación abre un amplio campo cuya física es aún desconocida. Constituye éste un muy interesante y fértil terreno para explorar. Así pues, aunque buena parte de la teoría cuántica emergente está ya hecha, su cuerpo mayor seguramente se encuentra en espera de jóvenes investigadores con visión alerta. La teoría cuántica es de una enorme importancia para la física y la ciencia actuales. Todo lo que signifique avanzar en su comprensión profunda es de la mayor importancia.