

hipótesis

Editor

Andrés F. Reyes Lega

Profesor Departamento de Física

Comité Editorial

Carlos Daniel Cadena

Decano

Facultad de Ciencias

Yenny Rocío Hernández

Vicedecana de Investigaciones y Posgrados

Facultad de Ciencias

Chiara Carazzone

Profesora Departamento de Química

Benjamin Eickmann

Profesor Departamento de Geociencias

Augusto Valderrama

Profesor Departamento de Ciencias Biológicas

Michael Anton Högele

Profesor Departamento de Matemáticas



Diseño y Diagramación

Andrés F. Reyes Lega

Corrección de estilo

Lina Duarte Tovar

Ilustraciones artículo Fotonos y quanta

María José Peña

Ilustración Portada

Juan Gabriel Sutachán

Universidad de los Andes, vigilada Mineducación

Reconocimiento como Universidad: Decreto 1297 del 30

de mayo de 1964. Reconocimiento personería jurídica:

Resolución 28 del 23 de febrero de 1949 Minjusticia.

Revista hipótesis

No. 28

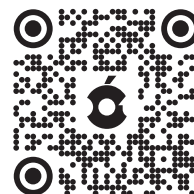
ISSN 1962-729X

ISSN ONLINE 1794-354X

© Universidad de los Andes

Para la reproducción total o parcial de esta obra
solicitar la autorización de la Revista.

<https://hipotesis.uniandes.edu.co>



hipótesis

En esta edición

- 3 **Editorial**
Andrés F. Reyes Lega
- 7 **La cuántica cumple cien años: un siglo de revoluciones**
Gian Pietro Miscione y Alejandra Valencia
- 21 **Fotones y quanta: Una revolución inacabada**
Luis Quiroga y Ferney J. Rodríguez
- 42 **Desenredando realidad y revuelo en la computación cuántica**
César Galindo y Julián Rincón
- 54 **Mediciones débiles y las huellas sutiles de una realidad cuántica oculta**
Alonso Botero
- 68 **El vacío que nos constituye: Medición, lenguaje y sujeto**
Viviana Gómez
- 72 **Electrones revueltos, principio de incertidumbre de Heisenberg y superconductividad de alta temperatura: Una combinación extraña**
Paula Giraldo Gallo
- 78 **La teoría cuántica de campos: de los infinitos a la estructura**
Andrés F. Reyes Lega
- 96 **El grupo de renormalización no perturbativa: de las transiciones de fase en materia condensada a la seguridad asintótica en gravedad cuántica**
Erick Tuirán
- 104 **¡No sabemos qué es la cuántica!**
Laura Forero
- 108 **Una conversación con Eric Cornell**
Andrés F. Reyes Lega



Edición 28

El 2025 fue declarado por la Asamblea General de la ONU como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas (IYQ 2025, por sus siglas en inglés). Más allá de conmemorar un siglo de los descubrimientos y desarrollos que dieron lugar a aquello que hoy en día llamamos *mecánica cuántica*, el IYQ 2025 buscó invitar a la sociedad global a reconocer la ciencia cuántica como una empresa humana colectiva, fundamental para comprender el mundo y afrontar algunos de los grandes desafíos del siglo XXI.

La historia que dio lugar a esta conmemoración difícilmente puede reducirse a un único descubrimiento o a una fecha precisa. Las primeras ideas relacionadas con una descripción «cuántica» del mundo microscópico habían aparecido ya a comienzos del siglo XX, de la mano de Max Planck y Albert Einstein, y durante las dos décadas siguientes físicos como Niels Bohr intentaron incorporarlas a una descripción del átomo que, aunque exitosa en muchos aspectos, también presentaba importantes limitaciones. Fue en 1925 cuando Werner Heisenberg, seguido poco después por Max Born, Pascual Jordan y Erwin Schrödinger, dio los pasos decisivos hacia la construcción de una nueva mecánica. En el artículo que abre este número, Gian Pietro Miscione y Alejandra Valencia reconstruyen algunos de los episodios de esta historia, desde los problemas planteados por los espectros atómicos hasta el surgimiento de la mecánica matricial y de la mecánica ondulatoria, y muestran cómo una teoría que obligó a transformar profundamente nuestra comprensión del mundo microscópico ha terminado por convertirse, cien años después, en el fundamento de tecnologías que comienzan a formar parte de nuestro presente.

Pero la revolución de 1925 no surgió de la nada. Entre los desafíos que sentaron las bases, se encontraba uno particularmente antiguo: comprender la naturaleza de la luz. A comienzos del siglo XX, la descripción ondulatoria, consolidada por la teoría electromagnética de Maxwell, coexistía con la sorprendente hipótesis de que la energía luminosa podía intercambiarse en cantidades discretas. Luis Quiroga y Ferney J. Rodríguez retoman en su contribución esta historia para preguntarse qué significa realmente hablar de un fotón. El recorrido conduce desde Planck y Einstein hasta algunos de los experimentos que, muchas décadas después, pusieron a prueba aspectos cada vez más sutiles del comportamiento de la luz. La revolución iniciada por los «cuanta», como sugiere el título

de su artículo, dista así de ser una historia concluida. Algunas de las propiedades que hicieron tan desconcertante a la nueva teoría (la superposición, el entrelazamiento o el papel que desempeña la medición) son precisamente las que hoy se intentan aprovechar para desarrollar nuevas tecnologías. Pocas han despertado tantas expectativas como la computación cuántica. Sin embargo, los anuncios de computadoras capaces de resolver problemas que ninguna máquina convencional puede resolver coexisten con ideas erróneas sobre qué es un *qubit*, de dónde surge una ventaja cuántica o qué problemas podrían resolver realmente. César Galindo y Julián Rincón se ocupan de separar estas

posibilidades del revuelo que las acompaña y ofrecen una introducción a los principios sobre los que se construye un computador cuántico. Se trata, además, de una tecnología que no pretende simplemente reemplazar los computadores que utilizamos cotidianamente: los dispositivos cuánticos están llamados, más bien, a convertirse en herramientas especializadas para determinados tipos de problemas. Esta perspectiva forma parte también del panorama de tecnologías cuánticas presentado en el artículo inicial de este número.

El desarrollo tecnológico no ha hecho desaparecer, sin embargo, las preguntas que acompañaron a la mecánica cuántica desde



Quinta Conferencia Solvay, Bruselas, 1927. Algunos de los principales protagonistas de la naciente mecánica cuántica se reunieron para discutir sus fundamentos e interpretación, en uno de los encuentros más célebres de la historia de la física. Fotografía por Benjamin Couprie, Institut International de Physique Solvay, Bruselas, Bélgica. Fuente: imagen de dominio público, tomada de Wikimedia Commons.

sus orígenes. Una de las más persistentes está relacionada con la medición. En la descripción usual, medir una propiedad de un sistema cuántico afecta inevitablemente su estado; sin embargo, ¿qué tanto podemos aprender si hacemos que esa perturbación sea extremadamente pequeña? Alonso Botero nos brinda una introducción al mundo de las mediciones débiles, una forma de interrogación experimental que permite explorar aspectos de la evolución de un sistema cuántico que quedan ocultos en una medición convencional. Los resultados, a menudo sorprendentes, nos recuerdan que incluso conceptos tan familiares como estado, trayectoria o realidad adquieren significados sutiles cuando intentamos aplicarlos al dominio cuántico.

Esta dificultad para separar claramente lo que existe de lo que podemos decir o conocer sobre ello ha acompañado a la teoría desde sus primeras interpretaciones. En una dirección deliberadamente distinta, Viviana Gómez explora algunas de las resonancias que las preguntas planteadas por la medición cuántica pueden encontrar en reflexiones sobre el lenguaje y el sujeto. Su contribución busca abrir un espacio de diálogo en torno a problemas que aparecen cuando la imagen clásica de un observador situado simplemente por fuera del mundo observado deja de resultar suficiente. De esta manera, el número se desplaza momentáneamente desde las consecuencias experimentales y tecnológicas de la mecánica cuántica hacia algunas de las preguntas conceptuales que todavía suscita.

Pero la mecánica cuántica no solo transformó nuestra manera de pensar acerca de átomos, fotones y mediciones. También hizo posible comprender las propiedades colectivas de los componentes microscópicos de la materia. En ciertos materiales, las interacciones entre un número enorme de electrones dan lugar a comportamientos que no pueden entenderse si se considera cada partícula de manera inde-

pendiente. Paula Giraldo nos conduce a uno de los problemas más fascinantes de la física contemporánea de la materia condensada: la superconductividad de alta temperatura y su estrecha relación con los llamados metales extraños. En estos sistemas, conceptos como el principio de incertidumbre y el entrelazamiento dejan de pertenecer únicamente al mundo de los experimentos ideales con unas pocas partículas y se manifiestan en estados colectivos de la materia cuyo comportamiento continúa desafiando nuestra comprensión.

La necesidad de describir sistemas con un número arbitrario de partículas, junto con la exigencia de hacer compatible la mecánica cuántica con la relatividad especial, condujo a otro de los grandes desarrollos de la física del siglo XX: la teoría cuántica de campos. Su extraordinario éxito predictivo vino acompañado desde muy temprano de dificultades conceptuales y matemáticas, entre ellas la aparición de cantidades infinitas en los cálculos. En su contribución a este número, Andrés Reyes presenta una panorámica de algunos de los caminos que permitieron hacer frente a estos problemas, desde el desarrollo de los métodos de renormalización hasta aproximaciones que buscan entender la teoría cuántica de campos a partir de estructuras matemáticas más sólidas. La historia muestra que aquello que inicialmente podía parecer únicamente un obstáculo técnico terminó llevando a nuevas formas de pensar qué significa formular una teoría física.

La renormalización misma acabaría adquiriendo un significado mucho más amplio. Con el trabajo de Kenneth Wilson, dejó de entenderse únicamente como un conjunto de procedimientos destinados a controlar los infinitos de la teoría cuántica de campos y pasó a convertirse en una herramienta para estudiar cómo cambia la descripción de un sistema cuando lo observamos a diferentes escalas.

Erick Tuirán sigue esta idea desde las transiciones de fase en materia condensada hasta el grupo de renormalización no perturbativo y una de sus aplicaciones más ambiciosas: la posibilidad de que la gravedad pueda encontrar una descripción cuántica consistente mediante el mecanismo conocido como *seguridad asintótica*. Así, una idea, nacida en buena medida de las dificultades encontradas por la teoría cuántica de campos, termina conectando fenómenos que van desde las propiedades colectivas de la materia hasta la estructura del espacio-tiempo.

Después de cien años de éxitos experimentales, desarrollos conceptuales y aplicaciones tecnológicas, podría parecer paradójico afirmar que todavía no sabemos qué es la física cuántica. Precisamente con esta provocación comienza la contribución de Laura Forero, quien relata la experiencia de visitar «Explorando la cuántica», una exposición concebida en la Universidad de los Andes en el marco del IYQ 2025. La dificultad de comunicar conceptos que desafían nuestra experiencia cotidiana, sin recurrir por ello al misterio o a simplificaciones engañosas, constituye uno de los retos centrales de la divulgación de la ciencia cuántica. La exposición buscó abrir un espacio en el que públicos diversos pudieran acercarse a su historia, sus conceptos y algunas de sus aplicaciones, y constituye un ejemplo concreto del propósito más amplio del Año Internacional: llevar la conversación sobre la ciencia y las tecnologías cuánticas más allá de los laboratorios y de las comunidades especializadas.

Hemos querido cerrar este número desplazando la mirada desde las teorías y los experimentos hacia las personas que hacen ciencia.

Eric Cornell, galardonado con el Premio Nobel de Física en 2001 junto a Carl Wieman y Wolfgang Ketterle por los trabajos que condujeron a la obtención experimental de la condensación de Bose-Einstein en gases atómicos diluidos, nos

visitó en la Universidad de los Andes en 2025. Aprovechamos esa oportunidad para conversar con él acerca de algunos de los hitos de su trayectoria científica, pero también sobre aspectos menos visibles del trabajo de investigación: la creatividad, la colaboración, las dificultades, las satisfacciones y la perseverancia que forman parte de la actividad científica. Su testimonio ofrece una manera particularmente apropiada de regresar a una de las ideas que motivaron la celebración del IYQ 2025: la ciencia cuántica no es únicamente un conjunto de teorías y tecnologías, sino también el resultado de un esfuerzo humano colectivo.

Con esta edición de *HipÓtesis* hemos querido sumarnos a esa celebración ofreciendo distintas miradas sobre una revolución científica que, cien años después de los trabajos de Heisenberg, Born, Jordan y Schrödinger, continúa transformándose. Los artículos aquí reunidos recorren parte de su historia, sus fundamentos, algunas de sus aplicaciones más recientes y varios de los problemas que permanecen abiertos. Esperamos que este recorrido contribuya también a mostrar que celebrar los primeros cien años de la mecánica cuántica no significa conmemorar una historia concluida. Por el contrario, buena parte de las preguntas que dieron origen a la teoría continúan acompañándonos, al tiempo que otras, entonces inimaginables, han surgido de sus propios éxitos.

Andrés F. Reyes Lega

Editor, revista *HipÓtesis*

