

A finales del siglo XIX, la física parecía una obra casi concluida, sólida y coherente. Sin embargo, pequeñas anomalías experimentales —en la radiación, el átomo y la luz— abrieron grietas que transformaron por completo nuestra concepción del mundo y del propio concepto de realidad. Fue el surgimiento de la física cuántica.

FOTOGRAFÍA: JAVIER ARIAS*

Imaginemos por un momento que nos encontramos en 1895. La física es una catedral casi terminada. Durante más de dos siglos, desde Newton, se han colocado sus pilares con una seguridad admirable. En el campo de la mecánica, el movimiento de los planetas, la caída de los cuerpos, las mareas, los proyectiles... todo parece responder a leyes físicas tremendamente precisas. En el área del electromagnetismo, James Clerk Maxwell ha logrado unificar electricidad, magnetismo y luz en un elegante conjunto de ecuaciones y la termodinámica ha establecido principios universales sobre la energía y la irreversibilidad.

Un físico de finales del siglo XIX —seguro de su oficio, formado en cálculo diferencial y en la mecánica racional— podría pensar que la tarea esencial estaba concluida. De hecho, William Thomson, más conocido como Lord Kelvin, llegó a decir en una de sus conferencias: “Ya no queda nada nuevo por descubrir en física”. A su entender faltaban detalles, ajustes finos, mediciones más precisas. Pero la estructura general del mundo estaba clara: la naturaleza es continua y determinista.

Ese era el sueño laplaciano: un universo donde el azar no es más que ignorancia. Donde si conociéramos exactamente las posiciones y velocidades de todas las partículas del universo, el futuro sería una consecuencia inevitable del presente. Y sin embargo, en los márgenes de esa catedral comenzaron a aparecer fisuras.

La primera grieta: la luz del fuego

El problema parecía técnico, casi secundario. Se trataba de comprender de qué manera emite luz un cuerpo caliente. Un metal al rojo vivo, por ejemplo. Las ecuaciones clásicas, combinando electromagnetismo y termodinámica, predecían que la intensidad de la radiación debía crecer sin límite a frecuencias alta. Pero este resultado era absurdo, ya que implicaba que un objeto caliente emitiría energía infinita en el ultravioleta. A este “fallo” en la predicción se le llamó más tarde la “catástrofe ultravioleta”.

En 1900, Max Planck, físico sobrio y conservador, intentó resolver el problema con un recurso matemático que él mismo consideraba provisional. Supuso que la energía intercambiada entre materia y radiación no podía variar de forma continua, sino solo en múltiplos discretos de una cantidad elemental proporcional a la frecuencia,

$$E = h\nu$$

La constante h , hoy llamada constante de Planck, aparecía como un simple parámetro de ajuste. Pero lo que esa fórmula insinuaba era profundamente perturbador. La energía, que la física clásica había tratado siempre como una magnitud infinitamente divisible, parecía venir en “paquetes”. Para un clásico, aquello era casi una anomalía formal. La continuidad era una convicción profunda, no solo un supuesto técnico. Y sin embargo, los

datos experimentales encajaban con precisión bajo la suposición de Planck. El cuanto había entrado en escena. La energía estaba cuantizada.

La energía, que parecía infinitamente divisible, resultó venir en paquetes discretos

La segunda grieta: el átomo imposible

Poco después, el problema se desplazó al corazón mismo de la materia: el átomo. En el modelo clásico, un electrón orbitando un núcleo cargado debería emitir radiación continuamente. Según las leyes del electromagnetismo, cualquier carga acelerada pierde energía en forma de ondas electromagnéticas. El electrón, al perder energía, debería acercarse progresivamente al núcleo hasta colapsar sobre él. La conclusión era devastadora: los átomos no serían estables. Pero el mundo está hecho de átomos estables así que, ¿qué era lo que estaba ocurriendo?

En 1913, Niels Bohr propuso una solución audaz. Inspirándose en la idea de Planck de la cuantización de la energía, sugirió que el electrón sólo podía ocupar ciertos niveles de energía bien definidos. No cualquier órbita es posible alrededor del átomo, sino solo aquellas que cumplen una condición precisa relacionada con la constante h . Entre esos niveles, el electrón no transita gradualmente sino que "salta".

Desde la perspectiva clásica, aquello era desconcertante. La dinámica newtoniana no admite prohibiciones arbitrarias. Si una órbita es compatible con las fuerzas en juego, debe ser posible. Sin embargo, el modelo de Bohr explicaba con exactitud las líneas espectrales del hidrógeno, esas huellas luminosas que revelaban la estructura interna del átomo. La naturaleza parecía preferir ciertos estados discretos de energía, como si hubiera una arquitectura oculta que la física clásica no podía ver.

Aquí llega el cisma: el abandono de las trayectorias

La verdadera ruptura llegó en la década de 1920. Hasta entonces, incluso en los modelos que ya incorporaban la cuantización, se conservaba una imagen esencialmente clásica: la de partículas moviéndose en órbitas, aunque fueran "especiales".

Pero Werner Heisenberg decidió abandonar esa idea. En lugar de intentar describir trayectorias invisibles, se centró únicamente en lo que realmente podía medirse: las frecuencias y las intensidades de las líneas espectrales de los átomos. El resultado fue una nueva formulación de la mecánica basada en matrices, en la que las magnitudes físicas ya no se comportaban como números corrientes. Según su propuesta, el orden en que se realizan ciertos cálculos influye en el resultado, algo que no ocurre en la física clásica. Había entrado en escena la mecánica cuántica.

Poco después, Erwin Schrödinger presentó una formulación alternativa y matemáticamente más familiar: una ecuación diferencial que describía la evolución de una función de onda, es decir, la evolución de la probabilidad de encontrar la partícula en una determinada posición en un tiempo concreto. La posición de las partículas en cada instante seguía una ley probabilística, no determinista. En su forma más conocida, la ecuación de ondas es:

$$i\hbar (\partial\Psi/\partial t) = \hat{H}\Psi$$

El golpe conceptual no estaba en la ecuación, sino en su interpretación. La función donde ψ no describe una trayectoria concreta y su cuadrado proporciona la probabilidad de encontrar la partícula en cierto lugar al realizar una medición. La física clásica hablaba de posiciones y velocidades definidas en todo instante. Por el contrario, la cuántica sustituía esas certezas por distribuciones de probabilidad.

Werner Heisenberg formuló esta ruptura de manera precisa con su principio de incertidumbre: la posición y el momento (producto de la masa por la velocidad) no pueden conocerse simultáneamente con precisión arbitraria. No se trata de una limitación tecnológica, sino de una propiedad estructural de la teoría. Las magnitudes fundamentales no conmutan; la naturaleza no permite fijarlas simultáneamente más allá de cierto límite.

Para un físico formado en la tradición clásica, esto no era una simple corrección técnica. Era una renuncia al ideal determinista. El universo dejaba así de ser una máquina perfectamente predecible en todos sus detalles.

El experimento que desafió la intuición

Si la nueva teoría era inquietante, los experimentos lo eran aún más. Estamos hablando del famoso experimento de la doble rendija llevado al ámbito de la cuántica. En esta famosa experiencia, partículas individuales —electrones o fotones— atraviesan dos aberturas y producen en la pantalla posterior un patrón de interferencia igual al que produciría una onda electromagnética que las atravesase, incluso haciendo que las partículas atravesasen ambas rendijas de una en una. Pero cada impacto individual aparece como un punto localizado, como el choque de una partícula.

La física clásica distinguía con claridad entre ondas y partículas. Las primeras se superponen y generan interferencias; las segundas siguen trayectorias definidas. En el mundo cuántico, esa distinción se vuelve insuficiente. Los objetos microscópicos no son simplemente una cosa u otra. Desde la perspectiva clásica, el desconcierto es profundo. ¿Qué significa que algo pase “por ambas rendijas” a la vez? La teoría responde con el principio de superposición, es decir, el estado del sistema puede ser combinación de varios estados distintos con distintas probabilidades de existir. La intuición macroscópica deja de ser guía fiable.

Einstein y la resistencia a la mecánica cuántica: Dios no juega a los dados

Albert Einstein, que había contribuido decisivamente al desarrollo temprano de la teoría cuántica explicando el efecto fotoeléctrico a través de una adaptación de la teoría cuántica postulada por Planck, nunca se sintió cómodo con su interpretación probabilística. Para él, la física debía describir una realidad objetiva independiente del observador. El carácter estadístico de la mecánica cuántica le parecía señal de incompletitud.

El célebre intercambio entre Einstein y Bohr no fue una disputa menor, sino un debate filosófico sobre la naturaleza de la realidad. ¿Es la función de onda una descripción completa del mundo físico? ¿O es solo una herramienta estadística que oculta variables más profundas?

Décadas más tarde, los experimentos inspirados en las desigualdades de Bell mostraron que la estructura cuántica no es fácilmente reemplazable por teorías clásicas ocultas. La naturaleza parece estar organizada de acuerdo con principios que desafían las intuiciones clásicas sobre localidad y separabilidad.

El regreso del mundo cotidiano

Y, sin embargo, aquí estamos. Las mesas son sólidas, los planetas siguen órbitas precisas, las trayectorias de los proyectiles se calculan con ecuaciones clásicas. La física de Newton funciona extraordinariamente bien en el mundo cotidiano. La clave está en la escala. La constante de Planck es diminuta. En sistemas macroscópicos, donde intervienen cantidades enormes de partículas y acciones mucho mayores que \hbar , los efectos cuánticos se promedian y las interferencias se cancelan. En ese límite, las ecuaciones clásicas emergen como aproximaciones extremadamente precisas de la mecánica cuántica. La física clásica no fue refutada: fue puesta en su lugar. Se convirtió en el caso límite de una teoría más amplia.

Una nueva modestia intelectual

Vista desde un clásico, la física cuántica puede interpretarse como una lección de modestia. Las categorías que parecían evidentes —continuidad, trayectoria, determinismo— resultaron ser aproximaciones válidas solo en cierto régimen. El universo no dejó de ser racional, simplemente mostró una estructura más sutil de lo que nuestra experiencia macroscópica permitía anticipar. La revolución cuántica no demolió la catedral de la física clásica. La amplió hacia regiones que sus arquitectos originales no habían imaginado. Desde fuera, puede parecer un cambio brusco. Desde dentro, fue una transformación inevitable, guiada por la fidelidad a los hechos experimentales.

Un físico clásico del siglo XIX, enfrentado a la mecánica cuántica, quizá sentiría desconcierto. Pero también reconocería algo familiar: el mismo compromiso con la coherencia matemática y la concordancia empírica que había guiado a Newton y a Maxwell.

La física cuántica, vista desde un clásico, no es el triunfo del irracionalismo. Es la continuación —más audaz, más abstracta— del mismo proyecto: comprender la estructura profunda del mundo. Y en ese sentido, la revolución no fue una ruptura con la tradición, sino una profundización inesperada.

Descargue la infografía [El nacimiento de un nuevo mundo físico](#), de [Laura Marcos Mateo y Damgoz](#), para TELOS 129. *Inspiración cuántica*.

****Horizontal Depth*, obra del artista belga Frederik de Wilde, puede ser vista en la Exposición *Revolución cuántica*, en Espacio Fundación Telefónica, hasta el 11 de octubre de 2026.**