Orígenes y evolución de la física cuántica

> En un colisionador de partículas como el LHC de Ginebra, cuando un electrón y un positrón se encuentran, se aniquilan, como resultado del choque de materia y antimateria. Su energía se transfiere al vacío, esta energía crea partículas materiales reales que surgen de la dimensión del vacío, las cuales son registradas durante una minúscula fracción de tiempo en los ordenadores del CERN. Así, a partir de la nada, aparece materia, como el *bosón de Higgs*, que tiene una esperanza de vida de 10^{-22} s. Esto contradice la *ley de conservación de la energía*, porque hay materia que se crea y desaparece espontáneamente. Sin embargo, eso es lo que explica la física cuántica hoy en día.

Esta cuestión va más allá del mundo científico y enlaza de manera asombrosa con la metafísica oriental.

En la India hacia el año 600 a. C. existió la doctrina *vaisheshika* que era una de las de las seis diferentes escuelas existentes en el hinduismo designadas con el término *dárshana*, de origen sánscrito. Esta filosofía –basada en la percepción y la intuición– sostenía que el universo era reducible a *paramāṇu* (átomos), que son indestructibles, indivisibles, y tienen un tipo especial de dimensión. Todo lo que existe es un compuesto de estos átomos, excepto el tiempo, el espacio, el éter (*akasha*), el espíritu y el alma.

Tras el Periodo Clásico en Grecia sucede el Período Helenístico. Ese periodo se caracteriza por una fuerte influencia de Oriente en el pensamiento de Occidente a consecuencia de las campañas de Alejandro Magno que llegó hasta la India. Se desarrollaron escuelas en la Grecia helenística, una de las cuales fue el epicureísmo que planteó una visión del mundo basada en el atomismo de Leucipo y Demócrito.

Alexander with the painter Apelles from De Vaugelas'
French translation of Curtius published in
Amsterdam in 1696.

Existen referencias del atomismo muy anteriores, de Mosco de Sidón, un sabio y pensador natural de Sidón (Líbano) del siglo XIV a. C.

Los físicos teóricos en el Medievo eran filósofos. Uno de aquellos atomistas fue Guillermo de Conches, que era conocedor de obras de médicos árabes y griegos, como Galeno, por traducciones del siglo XI de Constantino el Africano. La *teoría atomista* alcanzó un punto culminante en los siglos XV y XVI con la renovación de Pierre Gassendi, gracias al cuestionamiento del aristotelismo de Nicolás de Cusa y Giordano Bruno.

Robert Boyle (1627-1691) tuvo gran influencia en Newton. Su libro "The Sceptical Chymist" (El

químico escéptico), puso fin a la idea aristotélica de los cuatro elementos y a los tres principios de Paracelso. Postuló que la materia estaba compuesta de átomos y que el resultado de cualquier fenómeno era consecuencia de las colisiones de estos átomos entre sí.

Sin embargo, la historia científica occidental del átomo comienza a finales del siglo XIX, pasando también por alto a los alquimistas medievales. De ellos hay escasa información debido a que sus prácticas eran secretas, con el fin de evitar a la Santa Inquisición, así como por el estilo hermético que ha acompañado a la *alquimia* desde antiguo.

"Durante todo el siglo XIX los físicos creían que los átomos no existían, que eran teorías de los químicos para cuadrar las cosas. Solo creían en ellos Maxwell, Boltzmann y Einstein. " [1]

A finales del siglo XIX comenzaron a aparecer diversos modelos del átomo, desde el clásico modelo de Dalton (1803) se pasó al modelo *cúbico* de Lewis, al *saturnino* de Nagaoka, al *pudin de pasas* de Thomson, al *planetario* de Perrin, al *nuclear* de Rutherford*, al orbital circular* de Bohr*, al orbital elíptico de* Sommerfeld*,* hasta llegar al *modelo cuántico ondulatorio* de Schrödinger y sus *variantes relativistas* de Dirac y Jorndan*.*

Funciones de onda del electrón en un átomo de hidrógeno a diferentes niveles de energía. La mecánica cuántica no puede predecir la ubicación exacta de una partícula en el espacio, solo la probabilidad de encontrarla en diferentes lugares. Las áreas más brillantes representan una mayor probabilidad de encontrar el electrón.

Con el surgimiento de la concepción cuántica de la materia comenzó a imponerse la indeterminación en el mundo científico.

Ludwig Boltzmann, preocupado por buscar una relación entre el macrocosmos y el microcosmos, era uno de los atomistas incomprendidos de finales del siglo XIX. Se dice que la mecánica cuántica siempre estará en deuda con Boltzmann por su desarrollo de la *termodinámica estadística*. Lo cual resultó trascendental para que Max Planck pudiera formular su famosa *constante de incertidumbre* (*h*) para calcular la energía de un fotón o *cuanto*, así como su *ley de la radiación* electromagnética emitida por un cuerpo a una temperatura dada.

A partir de los años 20, las bellas matemáticas que describían el mundo pasaron a ser formulaciones probabilísticas muy complejas y el mundo establecido se sentía incómodo frente a estos fenómenos que no se podían ver y que resultaban imposibles de medir con las fórmulas de Leibniz y las leyes de Newton.

Boltzmann y Einstein han sido ejemplos recurrentes de la contrariedad de las autoridades académicas, pero en realidad todos los físicos cuánticos eran menospreciados. La "Conferencia Solvay de 1927" fue el momento más importante para la física emergente.

El *experimento de la doble rendija*, que ya venía de 1801 y del que se han hecho variadas versiones, ha dado lugar a múltiples interpretaciones. En la observación experimental se manifiesta la *superposición cuántica*. Ocurre que tal observación no sólo perturba lo que se va a medir, sino que produce el denominado *colapso de la función de onda* de la ecuación de Schrödinger. Es decir, cuando se hace una observación o medición del sistema en una región, la *función de onda* varía

instantáneamente de manera global. [2]


Máquina de la doble rendija: (izq) Comportamiento corpuscular, (dcha) Comportamiento ondulatorio. Desde su concepción inicial se han ido añadiendo mecanismos cada vez más sofisticados para eludir la interacción experimental.

En Solvay se apostó por la *interpretación de Copenhague* que elaboraron principalmente Niels Bohr y Werner Heisenberg. El *principio de incertidumbre* formula la imposibilidad de realizar una medición experimental sin perturbar lo que se pretenden medir. Además, el hecho de que cada partícula lleva asociada consigo una onda, impone restricciones a la capacidad para determinar al mismo tiempo su posición y su velocidad. Así, la *dualidad onda-partícula* no era ya sólo una propiedad de la luz, sino de toda materia.


Solvay conference 1927.

Paul Dirac devolvió la idea de belleza a las matemáticas con su fascinante ecuación, a partir de la de Schrödinger. Estableció el *campo electromagnético* como mundo donde actúan las partículas, fundamentando que el vacío, en realidad, no está vacío y descubriendo la antimateria.


La ecuación de Dirac obtuvo un lugar en el Olimpo de las fórmulas veneradas, junto a la de Pitágoras, Einstein, etc.

Las conclusiones que se desprenden dan lugar a una apertura mental; la *física cuántica* lleva a pensar el mundo de otro modo. “Ya no somos meramente observadores de lo que medimos sino también actores”, dice Borh. De repente, una ciencia dura como la física comenzaba a cuestionar el paradigma de la objetividad: ¿podemos conocer la realidad sin interferir en ella y sin que ella interfiera en nosotros?

La teoría cuántica destruye la noción de *causalidad*, es decir, conserva los conceptos de causa y efecto, pero modifica su relación haciéndola *probabilista* en vez de causal. Cuando dos partículas, como los átomos, los fotones o los electrones, se entrelazan, experimentan un vínculo inexplicable que se mantiene incluso si las partículas se encuentran separadas en extremos opuestos del Universo.

De acuerdo con Heisenberg, los objetos microscópicos no son reales, sino que son meras potencialidades; existen sólo en algún dominio abstracto, no en el mundo físico; lo cual se corresponde con una traducción matemática, sin preocuparse demasiado por las cuestiones

metafísicas.

Einstein, entre otros, no se sentía satisfecho de una teoría que no cerraba el círculo. Una explicación alternativa a la *interpretación de Copenhague* fue la *teoría de las variables ocultas.* La primera idea de este tipo fue la *teoría de la onda piloto* de Louis de Broglie y, más avanzado el siglo XX, también de David Bohm. Para Bohm la metafísica es precisamente lo esencial en la física cuántica.

Sus publicaciones y especialmente su obra póstuma "The Undivided Universe" (1993) representa una síntesis global del pensamiento científico-filosófico del autor, donde también formaliza matemáticamente su visión de la física cuántica. Bohm sobrepasa toda autocensura en su interpretación del mundo.

"La capacidad de percibir o pensar de manera diferente es más importante que el conocimiento adquirido." [3]

Para Bohm la física cuántica es el reflejo del movimiento holístico del orden implicado. En este sentido se dice que *determinista*. Toda la realidad está impulsada por un fondo de energía en incesante actividad, un movimiento causal que sustenta y genera al mismo tiempo. Este movimiento comprende estructuralmente al espíritu y a la materia. El movimiento en su dinámica universal produce la diversidad de seres y fenómenos que captamos por los sentidos.

Neo-humanismo científico y orientalización

La *teoría de variables ocultas* de Luis de Broglie (no considerada en Solvay/1927) y David Bohm fue la inspiración para el *teorema de Bell*, formulado en 1965, en el que Jhon Bell constata la existencia de una *conectividad universal*. El entrelazamiento y la acción a distancia son parte del mundo microscópico. Las cosas se afectan a pesar de la distancia, debido al hecho de que no hay nada que no esté interconectado con todo. Este postulado, que parece ir en contra del límite de la *velocidad de la luz,* fue comprobado experimentalmente por Alain Aspect en 1983, confirmando la *no localidad* del universo a nivel de las partículas subatómicas.

"Supongamos que, cuando se intenta una formulación más allá de los propósitos prácticos, encontramos un dedo inamovible que apunta obstinadamente hacia fuera del tema, a la mente del observador, a los textos hindúes, a Dios, o incluso sólo a la Gravitación, ¿Acaso esto no resultaría sumamente interesante?". [4]

De manera complementaria, la *teoría de cuerdas* plantea la idea de que en la vibración de ciertas cuerdas se forman las partículas que conforman la realidad. De acuerdo con ello, un electrón no sería un *punto* sin estructura interna y de dimensión cero, sino una cuerda minúscula en forma de lazo vibrando en un *espacio-tiempo* de más de cuatro dimensiones.

A finales del siglo XX el paradigma de la *termodinámica clásica* que se había mantenido durante cientos de años tocó a su fin.

En 1977 Ilya Prigogine recibió el Premio Nobel de Química por su teoría sobre las *estructuras disipativas*. Estas estructuras funcionaban de manera distinta a los postulados de la *termodinámica clásica*. Mostró que en la química de determinadas estructuras ocurre un proceso de creación en el que las posibilidades rompen sus límites y se liberan gracias al *azar* y al *no-equilibrio* en interacción.

"Vamos de un mundo de certidumbres a un mundo de probabilidades. Debemos encontrar la vía estrecha entre un determinismo alienante y un universo que estaría regido por el azar y por lo tanto

sería inaccesible para nuestra razón”

Prigogine expresó la transición del pensamiento y la ciencia en los umbrales del siglo XXI con una visión neo-humanista.

“Estamos redescubriendo el tiempo, pero es un tiempo que, en lugar de enfrentar al hombre con la naturaleza, puede explicar el lugar que el hombre ocupa en un universo inventivo y creativo”. [5]

Surgió el anhelo por una *teoría del todo*.

Cualquier *teoría del todo* tiene que ser capaz de explicar cuatro fuerzas fundamentales: el electromagnetismo, la gravedad y las interacciones nucleares débil y fuerte. La mecánica cuántica es capaz de explicar tres. Todas estas fuerzas son comunicadas por una partícula especializada, pero no hay ninguna partícula encargada de transmitir la interacción gravitatoria. El llamado gravitón es por ahora solamente un concepto teórico.

Un nuevo mundo se ha abierto frente al ser humano, cuya comprensión va más allá del entendimiento empírico para convertirse en una experiencia totalizadora, en un arrebato que integra a la conciencia y al mundo.Haz click para twittear

La *teoría de cuerdas* proporciona una solución, porque la vibración de una cuerda determinada encajaría, precisamente, con las propiedades de un gravitón, exento de masa y que se movería a la velocidad de la luz, igual que el fotón. Pero la teoría de cuerdas es solo una hipótesis, no se ha demostrado la existencia de cuerdas.

Pasados miles de años, no deja de sorprender la gran similitud de la física actual con las concepciones mitológicas orientales cuando se sostiene –como una de las ideas más avanzadas sobre el origen de todo– que el universo nace de una fluctuación en el vacío, el cual está dotado de algún tipo de estructura desconocida. Las ondas electromagnéticas aparecen y desaparecen constantemente, partículas que existen y dejan de existir, en una especie de danza primigenia a partir de la cual se constituye el tiempo y la realidad que percibimos.

Un nuevo mundo se ha abierto frente al ser humano, cuya comprensión va más allá del entendimiento empírico para convertirse en una experiencia totalizadora, en un arrebato que integra a la conciencia y al mundo. Al tiempo esa nueva mirada conecta con el trasfondo milenario y los misteriosos orígenes de la cultura humana.

“El Vacío universal es, y todo el resto está desprovisto de realidad ontológica. Cualquiera que haya comprendido esta verdad —que es, ante todo, la verdad de los budistas madhyamaka, en parte compartida por otras *escuelas* — se convierte en Buda”.[6]

Se encuentran múltiples referencias al vacío en la cosmogonía india en el “Manavadharmashastra” que es el texto más importante referente al *dharma*. Trata de los principios, leyes y normas por los que se rigen el cosmos y la sociedad humana.

“Por medio del *samadhi,* el yogui trasciende a los contrarios y reúne, en una experiencia única, lo vacío y lo desbordante, la vida y la muerte, el ser y el no-ser. Más aún: el *samadhi,* como todos los estados paradójicos, equivale a una reintegración de las diferentes modalidades de lo real, en una sola modalidad: la plenitud no diferenciada de antes de la Creación, la unidad primordial. El yogui que alcanza el *asamprajnata samadhi* realiza igualmente un sueño, que obsesiona al espíritu humano desde los comienzos de la historia: coincidir con el Todo, recobrar la Unidad, rehacer la no-dualidad inicial, abolir el Tiempo y la Creación; y en particular, suprimir la bipartición de lo real en

objetosujeto”.[7]

---

[1] Comentario de Miguel Alcubierre en su 3ª conferencia en la UNAM, el 6 de marzo de 2018.

[2] El concepto “función de onda” ha dado lugar a mucha controversia. De acuerdo con la visión de Richard Feynman, se trata de una función compleja en el espacio de Hilbert, es decir, un objeto matemático, no real. Por lo tanto, no es nada físico que pueda colapsar realmente. Lo que ocurre es que la resolución del sistema no queda descrita en la ecuación de Schrödinger.

[3] Frase de David Bohm

[4] Frase de Jhon Bell.

[5] Arnaud Spire. “El pensamiento de Prigogine. La belleza del caos”. Ed. Andrés Bello, Barcelona, 2000.

[6] Mircea Eliade. Le Yoga, Immortalité et Liberté. Ed. La Pléyade, Buenos Aires, 202.

[7] Ibíd., 104