

*Tesis de  
Doctorado*

Autor:

*Leonardo Vanni*

adeuntis@ciudad.com.ar,

Director:

*Roberto Laura*

rlaura@fceia.unr.edu.ar

Lugar:

*Facultad de Ciencias*

*Exactas y Naturales,*

*Universidad de Buenos*

*Aires*

Fecha de defensa:

*1 de junio de 2010*

## Historias Contextuales

En los cursos de grado y postgrado de mecánica cuántica para las carreras de física, no es común que se incluya el tema de las interpretaciones de la teoría. Tampoco es frecuente encontrar una discusión del significado del proceso de medición en esos cursos, donde el cálculo matemático suele ser el aspecto dominante.

Como consecuencia, los alumnos obtienen una destreza de cálculo importante, pero mantienen una imagen clásica de la naturaleza, compatible con la mayoría de las experiencias del mundo macroscópico al que se tiene un acceso más directo.

Es por eso que resulta interesante la aparición de trabajos de investigación que aportan a la caracterización del universo del discurso y la lógica utilizada en la mecánica cuántica.

Ocurre algo peculiar en esta teoría, que no sucede en otras teorías físicas, como la mecánica clásica o el electromagnetismo: la cuántica no permite elaborar un discurso que involucre un subconjunto cualquiera de propiedades del sistema. La posición y el impulso son el ejemplo más inmediato, vinculado a las relaciones de indeterminación.

Pero es interesante analizar otro ejemplo, no ligado directamente a la incerteza posición-momento. En el conocido experimento de la doble ranura, atravesada por un haz de electrones, el argumento más popular sobre la imposibilidad de que cada electrón pase por una sola de las dos ranuras es que si esto fuera así, el movimiento de cada electrón no dependería de que la otra ranura estuviera abierta o cerrada. Entonces, la distribución de manchas en la placa fotográfica no presentaría las franjas de interferencia que se observan en el experimento.

Este tipo de argumentos involucran indirectamente una imagen clásica del electrón (ya sea como partícula o como onda), y apelan a la contradicción con el experimento que aparece si se trata de imaginar al electrón moviéndose como un corpúsculo, pero no proveen de una cuestión de principio teórica acerca de qué cosas son *en general* legítimas de concebir como propiedades posibles del electrón.

No es común que la expresión “universo del discurso” sea usada en los textos de física, pero es justamente en la teoría cuántica donde aparece la importancia de definirlo con precisión.

En esta teoría, cada sistema físico tiene asociado un espacio vectorial abstracto (un espacio de Hilbert) donde los estados del sistema se representan con vectores de ese espacio, y los observables con operadores. Además, las propiedades (intervalos de valor de los observables) se representan con subespacios del espacio de Hilbert, o lo que es lo mismo, con operadores de proyección.

Según el principio de indeterminación, sólo es posible considerar en forma simultánea los valores que toman dos observables distintos, cuando estos observables se representan con operadores que conmutan entre sí. Los observables representados matemáticamente con operadores que conmutan entre sí se denominan compatibles.

No es que haya dificultades del observador para conocer si el sistema verifica o no la conjunción de dos propiedades incompatibles. Tampoco se trata de que sea nula o muy pequeña la probabilidad encontrar este tipo de propiedades conjuntas. Lo que sucede es que la conjunción de propiedades incompatibles no es una propiedad posible del sistema. En otras palabras, no forma parte del universo del discurso de la teoría.

La teoría incorpora entonces la noción de contexto, que es un subconjunto de las propiedades de un sistema cuántico, que son compatibles entre sí, de las que puede hablarse con el sentido usual acerca de su conjunción, disyunción y negación, y para las que la teoría asigna probabilidades bien definidas.

Entonces (y sólo entonces) estas probabilidades admiten ser interpretadas como frecuencias de las distintas actualizaciones posibles de una propiedad al repetir un experimento.

Todas las descripciones posibles de un sistema cuántico deben hacerse para un contexto de propiedades, y no es posible hacer descripciones que involucren propiedades de contextos diferentes.

Es común decir que el contexto que se debe usar para la descripción está determinado por la situación experimental, es decir por las variables indicadoras de los aparatos de medición macroscópicos. Sin embargo, no hay una prescripción clara de la teoría cuántica sobre cómo elegir el universo de discurso correcto de entre todas las propiedades posibles, y en la mayoría de los casos la elección del contexto es el resultado de la intuición o la experiencia del físico.

Además, y si bien la teoría cuántica usual no da cuenta en forma sistemática de propiedades que ocurren a distintos tiempos, son muchos los casos en que es necesario relacionar en el discurso propiedades que están definidas en tiempos diferentes. Un caso que ya fue mencionado es el del experimento de la doble ranura, cuando se intenta argumentar acerca de cuál fue la ranura por la que pasó un electrón antes de dejar una mancha determinada en la placa fotográfica. Otro caso muy importante es el análisis de un proceso de medición, donde se quiere vincular el registro del aparato con cierta propiedad anterior del sistema microscópico medido.

En los dos casos citados, se necesita relacionar las propiedades de un sistema en tiempos diferentes. Pero este tipo de argumentación no tiene cabida en un contexto de propiedades cuánticas, que sólo permite un discurso acerca de propiedades a un mismo tiempo.

Se presenta en esta tesis un formalismo que permite describir propiedades a distintos tiempos de un sistema cuántico. La idea clave de esta tesis es que en la teoría cuántica usual los vectores que representan estados del sistema evolucionan en el tiempo gobernados por la ecuación de Schrödinger, y que esta evolución temporal permite también trasladar las propiedades desde un tiempo a otro. Una propiedad determinada en cada tiempo de una secuencia temporal define lo que puede denominarse una historia. Las propiedades a distintos tiempos que constituyen una historia pueden entonces trasladarse con este procedimiento, y convertirse en otras propiedades que estén definidas en un único tiempo. Con este procedimiento se consigue representar una historia como una conjunción de propiedades al mismo tiempo. Se postula entonces que un conjunto de historias forma una descripción válida, denominada *contexto de historias*, cuando al ser representadas con subespacios a un tiempo común, estos subespacios representan un contexto de propiedades en el sentido usual.

Se logra de esta manera ampliar el universo de discurso de la teoría, incorporando al mismo relaciones entre propiedades a distintos tiempos.

El formalismo de las historias contextuales desarrollado en esta tesis fue comparado con otra teoría previa, denominada teoría de historias consistentes, y se ha demostrado que presenta sobre ella algunas ventajas. Esto permite alentar esperanzas de que pueda ser un aporte relevante al problema de la interpretación de la teoría cuántica.

En particular, el nuevo formalismo desarrollado ha sido exitoso en la descripción sistemática del universo de discurso válido para el experimento de la doble ranura, dando además, en este caso, razones teóricas acerca de la destrucción de las figuras de interferencia en presencia de aparatos de medición.

También se ha logrado caracterizar con más precisión el principio de complementariedad. La dualidad onda-partícula aparece en este formalismo como una consecuencia de un principio de indeterminación generalizado para propiedades a tiempos diferentes, y no como un postulado adicional.

Además, el formalismo de historias contextuales ha resultado de utilidad para el análisis del proceso de medición cuántica, donde los registros de los aparatos de medición se conectan con las propiedades del sistema microscópico medido mediante implicaciones lógicas de un universo de discurso bien definido por la teoría.

Estos resultados permiten generar expectativas acerca de la utilidad del formalismo desarrollado para organizar teóricamente los conceptos involucrados en la mecánica cuántica, y también como una herramienta didáctica para su enseñanza.