



Universidad de Concepción  
Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas

---

# DISTRIBUCIÓN DE ENTRELAZAMIENTO ENERGÍA-TIEMPO GENUINO EN GRANDES DISTANCIAS

---

Tesis para optar al grado de  
Magister en Ciencias con Mención en Física

*Autor:* Álvaro Andrés Cuevas Seguel

Concepción-Chile

Marzo-2014

*Supervisor:* Dr. Guilherme Barreto Xavier

Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería

Universidad de Concepción

# Capítulo 1

## Introducción

### Motivación del Estudio

#### ¿Es la Mecánica Cuántica una teoría completa?

La pregunta surge a través importantes resultados deductivos e inductivos, que parecen contraponerse a grandes teorías como la Relatividad de A. Einstein. Esta teoría se fundamenta en principios y consideraciones ideadas para que las leyes del movimientos no cambien dependiendo del sistema de referencia donde se miren, por lo que las coordenadas espacio temporales se vuelven relativas al observador.

Aunque parezca extraño el comportamiento de esta teoría, ella obedece fuertemente al determinismo y la causalidad de eventos, es decir, que toda acción genera una reacción, total y absolutamente determinada por una estructura de ecuaciones.

A diferencia de lo anterior, la Mecánica Cuántica se origina al tratar de explicar el aparente caracter de onda y corpusculo de todas las partículas, pero sobre todo al intentar representar la discretización de la energía en los sistemas microscópicos. Esto último significa que la cantidad de energía que puede manejar un sistema depende de las condiciones de contorno sobre este, pues en ellas se restringen la forma de oscilación, como si fuese una onda estacionaria.

No solo en lo anterior se fundamenta la mecánica cuántica, sino que de varios otros fenómenos empíricamente comprobados, como la imposibilidad de saber con total certeza la posición y momentum de una partícula aislada, ya que en el proceso de medida se modifica el

estado de la partícula. Dicho lo anterior la mecánica cuántica se desenvuelve en un language de probabilidades, donde cada sistema no toma un estado como en la mecánica clásica, sino mas bien, una superposición simultanea de todos los posibles estados, hasta el momento en que un observador mide dicho estado.

Es en este punto donde estas dos grandes teorías, o los defensores de ambas, se enfrentan, pues en el mundo conocido...

¿el valor de una Cantidad Física esta definido inherentemente de antemano o depende de como un observador mida tal cantidad?

Al tratar de responder esta pregunta se idearon modelos matemáticos basados en variables desconocidas u ocultas, cuyo comportamiento llevó a la creación de reglas para distinguir entre teorías de resultados predictivos o probabilísticos. De esta forma, la idea fué utilizar este tipo de herramientas para testear sistemas cuánticos, y así establecer si realmente pueden reducirse a sistemas clásicos predictivos.

Pero la mecánica cuántica puede contemplar un tipo de estados (ó sistemas), que al ser medidos según los protocolos propuestos, violan las expresiones encontradas por los modelos de variables ocultas. A este tipo de estados se les conoce como estados entrelazados, ya que combinan los posibles subestados de dos o más subsistemas en un estado conjunto, de forma tal que los subsistemas no se pueden representar como individuales. Hoy por hoy representan uno de los pilares fundamentales de la teoría cuántica, ya que no es posible darles explicación y dinámica desde el punto de vista de la mecánica clásica.

Sobre esta idea se plantea el siguiente documento de tesis, el cual abordará la pregunta inicial de esta introducción, implementando un nuevo sistema de medición de partículas entrelazadas. Este sistema mide pares de fotones entrelazados mediante un montaje de doble interferómetro Mach-Zehnder único, al cual se le han añadido fibras ópticas largas ideales para extender el canal de comunicaciones entre los dos sistemas de observación en canales de telecomunicaciones. Por lo tanto, también se ha hecho necesario utilizar técnicas activas de control y estabilización de fluctuaciones ambientales.

El proceso de medir sobre el flujo de pares de fotones, se lleva a cabo por dos sistemas de observación, denominados Alice y Bob. Se realiza mediante cambios controlados de fase en cada uno de los interferómetros, lo cual modifica el estado conjunto de cada par de fotones

entrelazado y los posibles resultados de medir (ó salidas de cada interferómetro). Luego, ciertos resultados o eventos conjuntos son registrados y analizados.

Ahora bien, una de las expresiones encontradas por los modelos de variables ocultas, cuyo límite debe ser respetado por sistemas clásicos, es la llamada Desigualdad de Bell CHSH. Y este experimento muestra una clara violación del límite impuesto por ella. Pero a diferencia de otros trabajos en los que igualmente se viola este límite, en este trabajo de tesis se muestra como se han evadido errores teórico-experimentales comunes e importantes, de una forma que no se ha hecho antes.

El énfasis de trabajar en fibra óptica, se basa en que aunque las pérdidas de luz sean mayores que en espacio libre, la movilidad y versatilidad que presentan las fibras para conectar diferentes puntos de comunicación, la vuelven por mucho la mejor técnica para establecer redes de comunicación cuánticas. Además el experimento aquí mostrado codifica información en grados de libertad controlables en fibra, esceptuando el caso extremo de depolarización de haces de luz, lo cual no es apreciable en las señales estudiadas.

Los resultados que se presentarán permiten extrapolar con mayor seguridad, pero aún incompleta, el grado de completitud de la teoría de la Mecánica Cuántica.

Y por último, la propuesta representa un avance de grandes alcances en el área de criptografía, aplicada en sistemas de telecomunicaciones actuales o futuros, dada la implementación explicitada en los siguientes capítulos.