

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICA

Caminatas cuánticas 2D con decoherencia

Amado Alberto Cabrera Estrada

Carné: 201905757

3 de agosto de 2023

Licenciatura en Física Aplicada

Asesorado por: *Lic. José Alfredo de León (IF-UNAM) e Ing.
Rodolfo Samayoa (ECFM-USAC)*

1 Descripción general de la institución

1.1 Instituto de investigación de Ciencias Físicas y Matemáticas USAC

El Instituto de investigación de Ciencias Físicas y Matemáticas (ICFM) es la unidad de la Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas (ECFM) que promueve y realiza estudios avanzados en áreas científicas, fundamentales y aplicadas, de las ciencias físicas y matemáticas. El ICFM se proyecta como una plataforma regional de excelencia dedicada a la investigación y difusión del conocimiento en física y matemática. Las principales líneas de trabajo del ICFM son:

- La investigación académica en ciencia básica y aplicada
- La promoción de la investigación en ciencia básica y aplicada en el ámbito universitario
- La difusión y divulgación del conocimiento generado por la investigación en ciencias físicas y matemáticas
- La Actualización continua de programas académicos de ciencias físicas y matemáticas

2 Descripción del grupo de trabajo

El proyecto de prácticas estará bajo la asesoría del Lic. José Alfredo de León, quien fungirá como cotutor conjuntamente con el Ing. Rodolfo Samayoa. Actualmente, el Lic. José Alfredo se encuentra en la fase final de su Maestría en Ciencias (Física) en el Posgrado en Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Por otro lado, el Ing. Samayoa ostenta la posición de jefe del Departamento de Física en la ECFM-USAC.

El enfoque de este proyecto de prácticas se enmarca en el ámbito de la investigación de los sistemas cuánticos abiertos, campo en el cual el Lic. José Alfredo ha concentrado sus esfuerzos durante un período de 4 años, desde su proyecto de prácticas llevado a cabo durante su formación académica en la Licenciatura en Física en la ECFM-USAC.

3 Descripción general del proyecto

El proyecto consistirá en el estudio de las modificaciones que sufren las caminatas cuánticas discretas en dos dimensiones, bajo la acción de decoherencia, modeladas con canales cuánticos *Pauli component erasing*.

Para ello, el proyecto se divide en tres partes:

1. Adquirir conocimientos necesarios para la práctica, que incluyen el formalismo de la matriz de densidad, la teoría de los canales cuánticos y de las caminatas cuánticas discretas en dos dimensiones.
2. Realizar una revisión bibliográfica el estado del arte en modelos de caminatas aleatorias con decoherencia.
3. Hacer una implementación numérica de un modelo de caminata cuántica discreta en dos dimensiones con decoherencia, empleando canales cuánticos PCE. Posteriormente se estudiará su modificación en contraste con las caminatas cuánticas sin decoherencia.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Estudiar cómo se modifican las caminatas cuánticas discretas en 2 dimensiones¹ bajo la acción de decoherencia, modelada con canales cuánticos *Pauli component erasing* [1].

¹«DQW» por sus siglas en inglés: discrete quantum walks

4.2 Objetivos específicos

- Estudiar el formalismo de la matriz de densidad.
- Estudiar la teoría de los canales cuánticos y los canales cuánticos *Pauli component erasing*.
- Estudiar el modelo de DQW.
- Hacer un revisión bibliográfica del estado del arte en modelos de caminatas aleatorias con decoherencia.
- Implementar numéricamente un modelo de DQW con decoherencia modelada con canales *Pauli component erasing*.

5 Justificación del proyecto

El estudio de las caminatas cuánticas está motivado por sus aplicaciones y porque nos ayudan en el entendimiento de la mecánica cuántica. Dentro de las aplicaciones de las caminatas cuánticas se encuentra su uso para la implementación de algoritmos de búsqueda [2, 3] y la posibilidad de aumentar su eficiencia frente a la versión clásica [4, 5].

El estudio de la decoherencia en caminatas cuánticas permitirá conocer mejor las implementaciones experimentales de estas. Añadido al propio interés que trae el estudio de las caminatas cuánticas, el estudiar el efecto que la decoherencia puede tener en este tipo de sistemas es una necesidad experimental, ya que es actualmente imposible manipular un sistema cuántico sin que este experimente los efectos incontrolables de decoherencia [6].

Con el objetivo de investigar las caminatas cuánticas con decoherencia, modeladas mediante canales cuánticos PCE, será necesario adquirir conocimientos teóricos fundamentales. Se estudiarán herramientas como el formalismo de la matriz de densidad para describir los estados del sistema, ya que este es un formalismo más general que el del vector de estado. Asimismo, se abordará el formalismo de las caminatas cuánticas discretas en dos dimensiones. Por último, se estudiará la teoría de los canales cuánticos.

Finalmente, es importante destacar que este proyecto ofrece la oportunidad de poner en práctica y expandir las habilidades computacionales adquiridas durante la carrera. Estas destrezas computacionales son valiosas para el crecimiento profesional en diversas áreas de investigación.

6 Metodología

Para llevar a cabo los objetivos planteados con anterioridad se dividirá en 3 partes.

La primera de estas, que consistirá en estudiar la teoría necesaria para llevar las prácticas a cabo; se realizará con el libro introductorio [7] de Nilsen y Chuang, además se estudiará la forma de Kraus de los canales PCE que modelan decoherencia de sistemas de partículas de dos niveles del artículo [1] y las caminatas cuánticas discretas por medio del artículo de revisión [4] de Venegas–Andraca.

Para la segunda parte se aprenderá a realizar una revisión bibliográfica y se aplicará este conocimiento en hacer lo propio con las caminatas cuánticas con decoherencia. Se accederá a los distintos artículos por medio del asesor José Alfredo de León.

Y por último, con el conocimiento obtenido en las primeras partes de las prácticas se implementarán herramientas computacionales para modelar las caminatas cuánticas que se estudiaron. Para esto se investigarán los métodos computacionales y herramientas necesarias para llevarlo a cabo.

7 Cronograma

Tareas	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4
Tarea 1				
Tarea 2				
Tarea 3				
Tarea 4				
Tarea 5				
Tarea 6				
Tarea 7				

Tabla 1: Cronograma del proyecto de prácticas.

- **Tarea 1:** Repaso de álgebra lineal.
- **Tarea 2:** Estudiar el formalismo de la matriz de densidad.
- **Tarea 3:** Estudiar la teoría de los canales cuánticos y los canales cuánticos *Pauli component erasing*.
- **Tarea 4:** Estudiar el modelo de DQW.
- **Tarea 5:** Hacer una revisión bibliográfica el estado del arte en modelos de caminatas aleatorias con decoherencia.
- **Tarea 6:** Escribir un programa que implemente un modelo de DQW con decoherencia, modelada con canales PCE, empleando métodos numéricos.
- **Tarea 7:** Elaborar el informe final.

Referencias

- [1] J. A. de Leon, A. Fonseca, F. Leyvraz, D. Davalos, and C. Pineda, “Pauli component erasing quantum channels,” *Physical Review A*, vol. 106, oct 2022.
- [2] M. Santha, “Quantum walk based search algorithms,” in *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 31–46, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [3] R. Portugal, *Introduction to Quantum Walks*. Springer New York, 2013.
- [4] S. E. Venegas-Andraca, “Quantum walks: a comprehensive review,” *Quantum Information Processing*, vol. 11, pp. 1015–1106, jul 2012.
- [5] B. L. Douglas and J. B. Wang, “Efficient quantum circuit implementation of quantum walks,” *Physical Review A*, vol. 79, may 2009.
- [6] C. P. Koch, “Controlling open quantum systems: tools, achievements, and limitations,” *Journal of Physics: Condensed Matter*, vol. 28, p. 213001, may 2016.
- [7] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum Computation and Quantum Information*. Cambridge University Press, jun 2012.