
Caminatas cuánticas 1D con decoherencia

Mariana Elizabet Pérez Muralles

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
ESCUELA DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
LICENCIATURA EN FÍSICA

ANTEPROYECTO
AÑO DE PRÁCTICAS

SUPERVISADO POR: **Lic. José Alfredo de León (IF–UNAM)** e
Ing. Rodolfo Samayoa (ECFM–USAC)

31 de julio de 2023

1 Descripción general de la institución

1.1 Instituto de investigación de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de San Carlos de Guatemala

El Instituto de investigación de Ciencias Físicas y Matemáticas (ICFM) es la unidad de la Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas (ECFM) de la Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC) 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.

Sus principales líneas de trabajo 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 será asesorado por el Lic. José Alfredo de León, en cotutoría con el Ing. Rodolfo Samayoa como asesor local. El Lic. José Alfredo se encuentra actualmente terminando la Maestría en Ciencias (Física) del Posgrado en Ciencias Físicas de la Universidad Nacional Autónoma de México. El Ing. Samayoa es el jefe del Departamento de Física de la ECFM-USAC.

El tema de este proyecto de prácticas se encuentra dentro del área de investigación de los sistemas cuánticos abiertos, área en la que José Alfredo ha trabajado durante 4 años desde que realizó su proyecto de prácticas de la Licenciatura en Física de la ECFM-USAC.

3 Descripción general del proyecto

El proyecto consiste en estudiar cómo se modifican las caminatas cuánticas discretas en una dimensión («DQWL», por sus siglas en inglés: *Discrete Quantum Walks on a Line*) [1], bajo la acción de decoherencia, modelando este efecto con canales cuánticos *Pauli component erasing* (PCE) [2].

El proyecto consistirá en tres partes, que se planean realizar en orden:

1. Estudiar el formalismo de la matriz de densidad, la teoría de los canales cuánticos y el formalismo de las caminatas cuánticas discretas en una dimensión.
2. Hacer una revisión bibliográfica sobre los modelos de caminatas aleatorias con decoherencia.
3. Implementar numéricamente un modelo de decoherencia, utilizando canales cuánticos PCE, en una caminata cuántica discreta en una dimensión y estudiar cómo se modifican respecto a una caminata sin decoherencia.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Estudiar las modificaciones que sufren las caminatas cuánticas discretas en una dimensión, bajo la acción de decoherencia, modeladas con canales cuánticos PCE.

4.2 Objetivos específicos

1. Estudiar el formalismo de la matriz de densidad.
2. Estudiar la teoría de los canales cuánticos y los canales cuánticos PCE.
3. Estudiar el modelo de DQWL.
4. Hacer una revisión bibliográfica del estado del arte en modelos de caminatas aleatorias con decoherencia.
5. Implementar numéricamente un modelo de DQWL con decoherencia, empleando canales PCE.

5 Justificación del proyecto

Las caminatas cuánticas son relevantes por sus aplicaciones y por su formulación teórica. Una de las aplicaciones más importantes es la de los algoritmos cuánticos de búsqueda [3, 4]; han captado mucho interés por la posibilidad de ser más eficientes que su contraparte clásica [5]. No obstante, los modelos teóricos de las caminatas cuánticas son interesantes de estudiar por sí solos, dada su relevancia para entender mejor la teoría de la mecánica cuántica [1].

La implementación experimental de las caminatas cuánticas requiere que el sistema cuántico se considere como uno que puede interactuar con su entorno. A su vez, esta interacción puede inducir decoherencia sobre el sistema principal. Actualmente, sigue siendo experimentalmente difícil manipular un sistema cuántico sin que este sufra interacciones no controlables de su entorno [6]. Por lo tanto, una alternativa teórica viable es modelar estos sistemas como abiertos al entorno [7]. De esta manera es posible estudiar cómo se modifica su evolución respecto a la de un sistema en condiciones ideales.

Para investigar las caminatas cuánticas con decoherencia, modeladas con canales cuánticos PCE, será necesario primero estudiar algunas herramientas teóricas. Para describir los estados del sistema se requiere del formalismo de la matriz de densidad, dado que es más general que el del vector de estado. También se estudiará el formalismo de las caminatas cuánticas discretas en una dimensión. Finalmente, se estudiará la teoría de los canales cuánticos.

Por otro lado, cabe mencionar que este proyecto brinda la oportunidad de aplicar e incrementar las habilidades computacionales adquiridas a lo largo de la carrera. Estas habilidades prácticas en el ámbito computacional permiten el desarrollo profesional en múltiples campos de investigación.

6 Metodología

El proyecto consiste en tres partes de diferente extensión:

1. Estudiar el marco teórico. Se estudiarán primero los conceptos necesarios, que incluyen el formalismo de la matriz de densidad, la teoría de los canales cuánticos de los capítulos 2 y 8 del libro introductorio [8] de Nielsen y Chuang; además de la forma de Kraus de los canales *Pauli component erasing* que modelan decoherencia de sistemas de partículas de dos niveles, tal como se describe en el artículo [2]. Por último, se estudiarán las caminatas cuánticas discretas en una dimensión, como se presentan en el artículo de revisión [1] de Venegas-Andraca.

2. Realizar una revisión bibliográfica del estado del arte de las caminatas cuánticas aleatorias. Se aprenderá a hacer una revisión bibliográfica y se pondrá en práctica investigando el estado del conocimiento de los modelos de decoherencia en caminatas cuánticas. El acceso a los artículos de revistas se hará por medio de la cuenta institucional de la UNAM del Lic. José Alfredo de León. Se escribirá en el informe final sobre lo aprendido del marco teórico y sobre la revisión bibliográfica realizada.
3. Implementar numéricamente un modelo de decoherencia en caminatas cuánticas discretas en una dimensión y estudiar cómo se modifican. Se crearán herramientas computacionales propias para modelar caminatas aleatorias discretas en una dimensión con decoherencia. Se estudiará sistemáticamente cómo se modifican las caminatas cuánticas discretas en una dimensión bajo la acción de los canales *Pauli component erasing*. Los resultados y una discusión serán incluidos en la última parte del informe final.

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				

- **Tarea 1:** Repasar conceptos necesarios 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 PCE.
- **Tarea 4:** Estudiar el modelo de DQWL.
- **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 DQWL con decoherencia, modelada con canales PCE, empleando métodos numéricos.
- **Tarea 7:** Elaborar el informe final.

Referencias

- [1] S. E. Venegas-Andraca, “Quantum walks: a comprehensive review,” *arXiv e-prints*, p. arXiv:1201.4780, Jan. 2012.
- [2] J. A. de Leon, A. Fonseca, F. Leyvraz, D. Davalos, and C. Pineda, “Pauli component erasing quantum channels,” *arXiv e-prints*, vol. 106, p. 042604, Oct. 2022.
- [3] R. Portugal, *Quantum walks and search algorithms*, vol. 19. Springer, 2013.
- [4] M. Santha, “Quantum walk based search algorithms,” in *International Conference on Theory and Applications of Models of Computation*, pp. 31–46, Springer, 2008.
- [5] B. L. Douglas and J. B. Wang, “Efficient quantum circuit implementation of quantum walks,” *Phys. Rev. A*, vol. 79, p. 052335, 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] A. Ableitinger and R. Bertlmann, “Decoherence of open quantum systems,” in *56 annual symposium of the Austrian Physical Society Abstracts*, 2008.
- [8] M. A. Nielsen and I. L. Chuang, *Quantum computation and quantum information: 10th anniversary edition*. Cambridge University Press, 2010.