



Universidad de Panamá

Facultad de Informática, Electrónica y Comunicación

Licenciatura en Ingeniería en Informática

Actividad en Clase #3 de Probabilidad y Estadística

Tema: “*Ensayo de Investigación usando el Método Estadístico*”

Profesora: Milagros García

Integrantes:

Hernández Reyes, Juan Diego

Cédula:

8-991-161

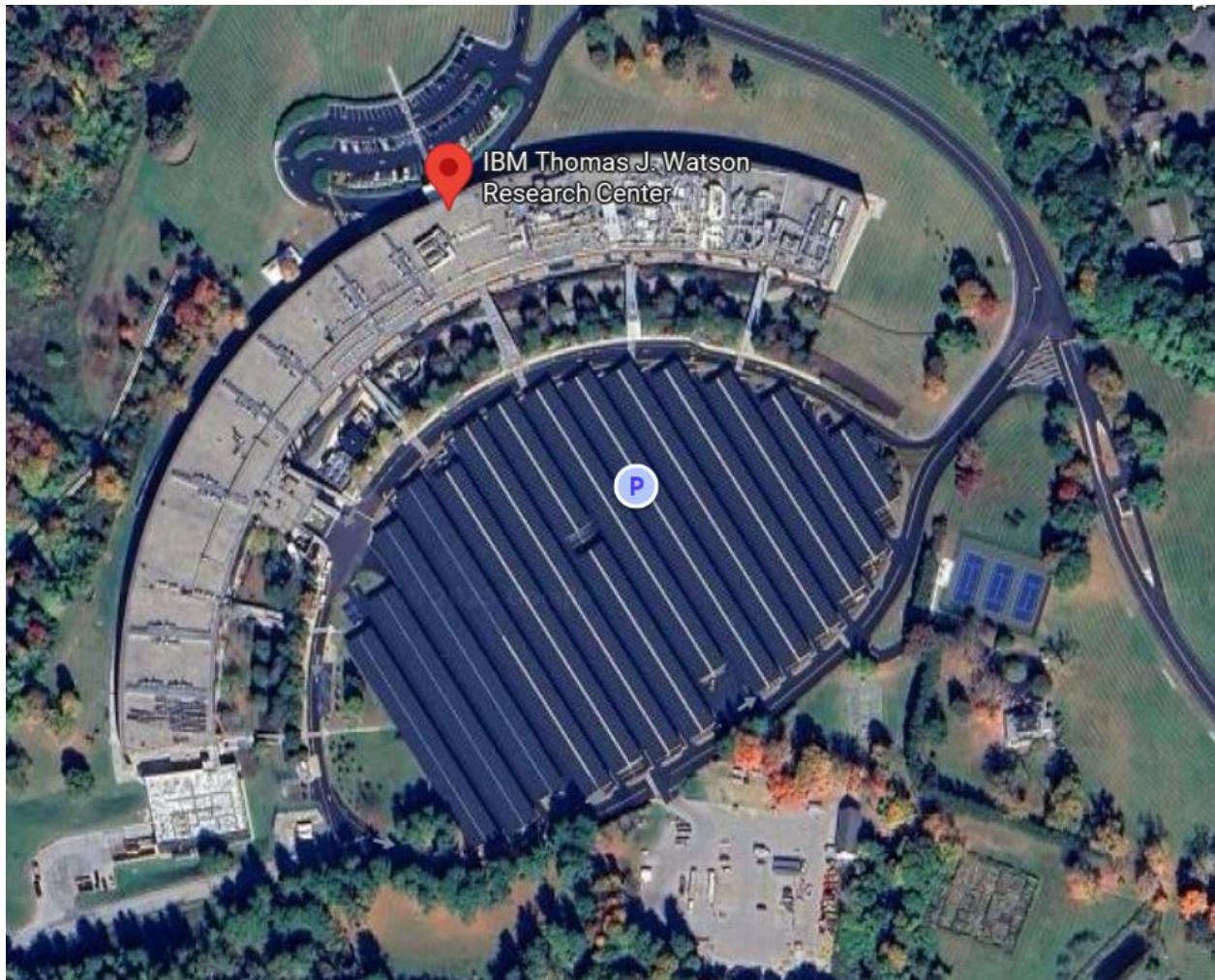
Fecha: 02/09/2025

Ensayo

Tema: *Estado y adopción de algoritmos en computación cuántica: un estudio empírico sobre desarrollo de software y transferencia a hardware.*

1) Laboratorio seleccionado para la recolección de datos primarios

- **IBM Thomas J. Watson Research Center**, lo escogí por su presencia pública en investigación, librerías abiertas (Qiskit) y colaboración con universidades y empresas.



Ubicado en: 1101 Kitchawan Rd, Yorktown Heights, NY 10598, Estados Unidos

2) Obtención de datos primarios (propuesta)

- **Diseño:** encuesta online + entrevistas en persona.
- **Muestra:** investigadores e ingenieros de IBM Quantum (población: 30–60 investigadores encuestados en línea; 8–12 entrevistas en profundidad).
- **Instrumentos:** formulario (Google Forms/Qualtrics) para las preguntas 1–9; entrevistas de ~30 – 45 min para profundizar en las preguntas 6 y 10.
- **Datos complementarios primarios:** con permiso, recopilar logs/anotaciones de experimentos internos (ejecuciones en hardware, resultados de benchmarking), métricas de repositorios internos (commits, PRs) y resultados de pruebas A/B si existen.
- **Ética:** consentimiento informado, anonimización, almacenamiento seguro, aprobación institucional (IRB) si aplica.
- **Limitaciones previsibles:** acceso restringido a datos internos, sesgo de selección (solo personal IBM), disponibilidad de tiempo de los investigadores.

3) Encuesta para investigadores de IBM Quantum (Datos Primarios)

1. **¿Cuál es su rol principal en IBM Quantum?**

- Formato: Variables nominales
- Lista de opciones: Investigador, Ingeniero de Hardware, Ingeniero de Software, Científico Aplicado, PhD, Otro (especificar).

2. **¿En qué algoritmos ha trabajado directamente en los últimos 3 años? (marcar todas las que apliquen)**

- Formato: respuesta múltiple (variables nominales)
- Lista de opciones: Shor/Grover/PEA, Hamiltonian simulation/QSVT, HHL/lineal systems, VQE/QAOA/variacionales, QML, Quantum walks/graph, Otros (especificar).

3. **En una escala del 1 al 5, ¿cómo evalúa la madurez del software de soporte para ejecutar algoritmos cuánticos en hardware real?**

- Formato: Variables ordinales
- Lista de opciones: 1 = Muy inmaduro — 5 = Muy maduro.

4. **¿Qué porcentaje de su tiempo de investigación dedica a: A. Diseño teórico de algoritmos, B. Implementación/optimización de software, C. Pruebas en hardware, D. Benchmarking/documentación?**

- Formato: Variables cuantitativas continuas (porcentajes que suman 100).

5. **¿Ha integrado algoritmos basados en QSVT/QSP o qubitization en pipelines de producción o pruebas a gran escala?**

- Formato: Variable binaria (Sí / No).
- Lista de opciones: Sí: pedir número de proyectos (variable discreta).

6. ¿Cuáles considera las tres barreras principales para que los algoritmos cuánticos pasen de prototipo a uso práctico?

- Formato: respuesta abierta (pueden ser variables cualitativas nominales u ordinales).

7. ¿Con qué frecuencia utiliza o colabora con librerías open-source (Qiskit, Cirq, PennyLane, etc.) para desarrollar/validar algoritmos?

- Formato: variables ordinales
- Lista de opciones: Nunca, Rara vez, A veces, Frecuentemente, Siempre.

8. ¿Cuáles métricas considera más críticas para evaluar un algoritmo en hardware NISQ? (ordenarlas por importancia):

- Formato: clasificación/orden (variables ordinales).
- Lista de opciones: Fidelidad, número de qubits, profundidad de circuito, tiempo de ejecución, coste clásico asociado, etc.

9. ¿Ha participado en el desarrollo de benchmarks (SupermarQ, QASMBench, otro) o en la creación de nuevos casos de prueba?

- Formato: Variable binaria (Sí / No).
- Lista de opciones: Sí: pedir número de benchmarks (variables discretas) y Áreas (Química, Optimización, Quantum Machine Learning) (variables nominales).

10. Desde su experiencia, ¿qué algoritmos o técnicas tienen mayor probabilidad de impacto práctico en los próximos 5 años? Explique brevemente.

- Formato: respuesta abierta (variables ordinales).
- Esta pregunta será útil para el análisis cualitativo y mapeo de "tendencias esperadas".

4) Obtención de datos secundarios

1. **Definir ventana temporal:** por ejemplo de 2015 a 2025.
2. **Fuentes y herramientas:** arXiv (API), Semantic Scholar / CrossRef (citas y metadatos), Quantum Algorithm Zoo (catálogo), repositorios GitHub (Qiskit, Cirq, PennyLane), sitios de benchmarking (SupermarQ, QASMBench, MQT Bench), noticias de empresas, proceedings (QIP, STOC/FOCS para teoría).
3. **Búsqueda reproducible:** construir lista de palabras clave por familia (ej.: "QAOA", "VQE", "QSFT", "qubitization", "Hamiltonian simulation", "HHL", "quantum kernel"). Usar APIs para extraer metadatos (título, autores, resumen, fecha, DOI/arXiv ID #).
4. **Filtrado y depuración:** eliminar duplicados, normalizar nombres de autores y afiliaciones, asignar etiquetas temáticas (familias de algoritmo) por reglas de palabras claves o clasificación automática (NLP).
5. **Variables derivadas:** número de artículos por año (discreta), citas por artículo (discreta), frecuencia por familia (continua), presencia de implementaciones en repositorios (sí/no), métricas de adopción (stars, forks, commits) de librerías que contienen implementaciones (ordinales).
6. **Almacenamiento:** CSV/Parquet con metadatos, versión de código (script de extracción con logs) para reproducibilidad.
7. **Análisis adicional:** Correlación entre publicaciones y actividad en GitHub.
8. **Limitaciones:** sesgo de publicación, investigaciones no indexadas en arXiv, medición imperfecta de "adopción" por estrellas o commits.

5) ¿Cuál formato de encuesta encontró que se aplicó anteriormente sobre su tema de interés? (captura de pantalla)

Pude encontrar un [artículo](#) de una entrevista entre el profesor [Rainer Alt](#) de la Universidad de Leipzig, y la [Dra. Heike Riel](#), jefa de la Investigación Cuántica en IBM EMEA (Europa, Medio Oriente, y África). La propuesta de encuesta que realicé está basada en las preguntas que el profesor Rainer le hizo a la Dra. Heike Riel: cambié algunas preguntas, elaboré algunas más específicas, y redacté preguntas nuevas inspirado en otros artículos que he leído. A continuación, adjunto una captura de pantalla:

<p>On the potentials of quantum computing – An interview with Heike Riel from IBM Research</p> <hr/> <p>What is IBM's approach to quantum computing?</p> <p>Let's first clarify on the types of quantum computers. A universal quantum computer is very different from a quantum annealer, which lacks gates and can be used only for specific types of problems, such as optimization tasks. At IBM we build gateable quantum computers, which allow a continuous development path from first utilizing error mitigation towards error correction of high-quality circuits that can become universal and can thus provide a fundamental and intrinsic speed-up. In our approach, the qubits fulfil specific criteria, which were defined by David DiVincenzo in 2000 who was at IBM Research in Yorktown Heights at that time. He formulated the characteristics that a physical system needs to have to act as qubit for quantum computation. The definition of the so-called "DiVincenzo criteria" has been an important milestone because it describes the properties experimental physicists need to search for to build qubits. Before, it was mainly a theoretical topic. From 1981, when proposed by Richard Feynman at a conference, quantum computing was just a brilliant idea leveraging the laws of quantum physics to solve quantum mechanical problems, which are omnipresent in physics and chemistry. Feynman thought it would be much easier than using classical physics to approach a quantum-mechanical problem, but at that time it was not clear how it should work. Until 2000, much work was done to figure out the theoretical concept of how to build such a quantum computer.</p> <p>How have quantum computers evolved?</p> <p>Quantum computing is a very active area of development. There are different physical implementations to build qubits that are currently developed and differ regarding their maturity. The most mature are quantum bits based on superconducting Josephson junctions, which are rather simple structures consisting of an insulator sandwiched between two superconducting metal layers. The Josephson junction is a non-linear inductor possessing an anharmonic energy spectrum that cre-</p>	<p>2539</p> <p>computers based on superconducting Josephson junctions. In 2015, we were able to build a five-qubit quantum processor and made it available in the IBM cloud in May 2016. This made quantum computers broadly available and within a couple of days we saw publications on experiments with this processor from around the world, even from the Arctic. For the first time easy access to a quantum processor has been given.</p> <p>What were the main application areas for this cloud quantum computer?</p> <p>This open cloud access gave researchers the opportunity to run simple operations and algorithms on a real quantum processor. While before only a "paper and pencil" exercise was possible, theoretical ideas could now be tested experimentally. You can apply gate operations to qubits, run model systems and execute certain algorithms and check what the output is. For example, an early experiment was to simulate a lithium hydride molecule using six qubits, characterize the influence of the qubit noise and apply error mitigation. This real device allows much experimentation to develop and run algorithms, and test them on small model systems. In that regard, various experiments in the area of simulating quantum systems solving problems in physics and chemistry, quantum machine learning, quantum Monte Carlo simulations, as well as optimization problems are pursued. These five and seven qubit systems are still in use today, although we have steadily been able to scale the number of qubits and improve the performance of the quantum systems which is essential to solve problems classical computers cannot solve.</p> <p>How has this changed since 2016?</p> <p>Since 2016 we have continuously increased the number of qubits and the performance of quantum computers, demonstrating a 27-qubit processor in 2019, called Falcon, launching the Hummingbird chip in 2020 – you see that we call our chips like birds – which is a 65-qubit system, and in October 2021</p>
---	--

Extra

Objetivo General

Investigar el estado actual del desarrollo y aplicación de algoritmos en la computación cuántica, con el fin de ofrecer una visión realista y documentada del campo, contrarrestando la percepción de falta de avances prácticos y motivando a jóvenes ingenieros e investigadores (incluyéndome a mí mismo) a involucrarse y aportar al progreso de esta área emergente.

Objetivos Específicos

1. **Analizar la literatura científica y repositorios de código abierto** para identificar los algoritmos cuánticos más investigados y en qué etapa de desarrollo o aplicación se encuentran.
2. **Diseñar y aplicar instrumentos de recolección de datos primarios** para conocer de primera mano la percepción de expertos sobre los avances, limitaciones y perspectivas de los algoritmos cuánticos.
3. **Clasificar y codificar variables estadísticas** derivadas de las fuentes primarias y secundarias, que permitan evaluar cuantitativa y cualitativamente el progreso del campo.
4. **Comparar el desarrollo de algoritmos cuánticos con su implementación en software y hardware real**, destacando las áreas de mayor madurez y aquellas que aún requieren investigación.
5. **Divulgar los hallazgos de la investigación** de manera accesible, con el propósito de inspirar y orientar a futuros estudiantes e ingenieros interesados en contribuir al avance de la computación cuántica.

Bibliografía

1. Dalzell, A. M., McArdle, S., Berta, M., Bienias, P., Chen, C., Gilyén, A., Hann, C. T., Kastoryano, M. J., Khabiboulline, E. T., Kubica, A., Salton, G., Wang, S., & Brandão, F. G. S. L. (2025). *Quantum algorithms*. <https://arxiv.org/abs/2310.03011>
2. Jordan, S. (n.d.). *Quantum Algorithm Zoo*. <https://quantumalgorithmzoo.org/>
3. Bergholm, V., Izaac, J., Schuld, M., Gogolin, C., Ahmed, S., Ajith, V., Alam, M. S., Alonso-Linaje, G., AkashNarayanan, B., Asadi, A., Arrazola, J. M., Azad, U., Banning, S., Blank, C., Bromley, T. R., Cordier, B. A., Ceroni, J., Delgado, A., Olivia, D. M., . . . Killoran, N. (2018, November 12). *PennyLane: Automatic differentiation of hybrid quantum-classical computations*. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/1811.04968>
4. *PennyLane documentation*. (n.d.). PennyLane. <https://docs.pennylane.ai/en/stable/>
5. Blekos, K., Brand, D., Ceschini, A., Chou, C., Li, R., Pandya, K., & Summer, A. (2024). *A review on Quantum Approximate Optimization Algorithm and its variants*. Physics Reports, 1068, 1–66. <https://arxiv.org/abs/2306.09198>
6. Lu, X., Liu, Y., & Lin, H. (2024, July 19). *Quantum signal Processing and Quantum Singular Value transformation on U(N)*. arXiv.org. <https://arxiv.org/abs/2408.01439>
7. Alonso, G., & Arrazola, J. M. (2024, October 7). *Intro to qubitization*. PennyLane Demos. https://pennylane.ai/qml/demos/tutorial_qubitization
8. Alt, R. (2022). On the potentials of quantum computing – An interview with Heike Riel from IBM Research. *Electronic Markets*, 32(4), 2537–2543. <https://link.springer.com/article/10.1007/s12525-022-00616-1>