

# Optimización de Carteras de Inversión: Un Benchmark con Modelos Clásico, de Computación Cuántica y de Hibridación AI /QC

Agentes y Sistemas Inteligentes

## AUTORES

Juan Pablo Braña [juan.brana@uai.edu.ar](mailto:juan.brana@uai.edu.ar)  
 Alejandra M.J. Litterio [alejandra.litterio@uai.edu.ar](mailto:alejandra.litterio@uai.edu.ar)  
 Alejandro Fernández [alejandra.fernandez@uai.edu.ar](mailto:alejandra.fernandez@uai.edu.ar)  
 Filiación: Universidad Abierta Interamericana

## LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Algoritmos y Software

## PALABRAS CLAVE

Computación Cuántica, Procesamiento de Lenguaje Natural Cuántico, Optimización de Cartera de Inversión, Finanzas, Machine Learning, AI

## CONTEXTO

El presente proyecto está radicado en el Centro de Altos Estudios en Tecnología Informática (CAETI), dependiente de la Facultad de Tecnología Informática de la Universidad Abierta Interamericana. El mismo se encuentra inserto en la línea de investigación "Algoritmos y Software". El financiamiento es otorgado por la Universidad Abierta Interamericana.

## INTRODUCCIÓN Y PLANTEO DEL PROBLEMA

El inversor racional siempre ha buscado dos metas cuando toma la decisión de conformar una cartera de inversión: a) maximizar los retornos, b) disminuir el riesgo. Para ello, diferentes metodologías han sido empleadas, desde un enfoque clásico como el Modelo de Markowitz [12], uno de mayor reconocimiento por la industria financiera, por un lado, y un enfoque moderno, por el otro lado, que nos presenta algoritmos de *Machine Learning*, tanto modelos supervisados como no-supervisados que permiten la selección de instrumentos financieros y su rebalanceo periódico de la cartera, incluso, híbridos con Aprendizaje por Refuerzo (*Reinforcement Learning*) los que han sido presentados con éxito [1].

En relación a lo mencionado y trabajos anteriores han realizado numerosos experimentos y benchmarking en un esfuerzo por evaluar y e identificar las ventajas en aplicaciones en el mundo real [6], [8]. De la misma manera, se ha observado que la Computación Cuántica (QC) cuenta con el potencial de resolver problemas de índole financiera como detección de fraude, *pricing* de derivados [6], [8], [14], [16], [18] riesgo crediticio [5], [19], entre otros. En particular, el caso que nos ocupa, la Computación Cuántica como mecanismo de optimización de carteras de inversión ha introducido un nuevo paradigma [10], [11], [13], [15], [17]. Además, se espera que la fusión entre la Computación Cuántica y la Inteligencia Artificial sea la próxima revolución que cambie el rumbo de la industria, no solo la financiera, sino cualquiera relacionada con grandes volúmenes de procesamiento, velocidad y seguridad en los datos.

### Pregunta Problema:

Una aproximación híbrida entre la Computación Cuántica e Inteligencia Artificial podría conseguir mejores resultados para un modelo de optimización de cartera de inversión en comparación con los resultados obtenidos con una aproximación que solo utiliza Computación Cuántica.

### Objetivo General:

Realizar un benchmark entre los resultados obtenidos por un modelo clásico, uno basado en Computación Cuántica, y otro híbrido entre Computación Cuántica e Inteligencia Artificial.

## RESULTADOS ESPERADOS

### A. Resultados Obtenidos

Realizando un *backtesting* de los tres criterios de comparación descriptos previamente hemos obtenido los siguientes resultados en nuestra primera fase:

- > Las carteras de inversión con los retornos más altos, a menor riesgo fueron obtenidos en un 92% por la APROXIMACIÓN CLÁSICA.
- > El 8% de las veces, nuestro DESARROLLO HÍBRIDO entre la aproximación Cuántica con AI ha superado a la APROXIMACIÓN CLÁSICA.
- > El 89% de las veces, nuestro desarrollo híbrido ha sido mejor que el netamente CUÁNTICO sin AI.

### B. Resultados Esperados

Como se ha mencionado, solo hemos podido experimentar con la generación de carteras con hasta cinco (5) instrumentos financieros. Al momento de escribir este trabajo, IBM ha liberado computadoras cuánticas con hasta 16 qubits y se espera que pronto haga lo propio con 65 qubits, lo que nos permitirá ampliar nuestro universo de manera considerable. Cuando esto suceda, y cuando los algoritmos cuánticos, los cuales se encuentran en parmente desarrollo y actualización, esperamos que estos resultados obtenidos de manera provisoria se revertirán hasta el punto de que la aproximación híbrida Cuántica con *Machine Learning* se acerque e incluso mejore la performance de la aproximación Clásica.

## FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

El proyecto consta de un equipo multidisciplinario conformado por docentes de la Diplomatura en Análisis de Datos para Negocios, Finanzas e Investigación de Mercado, y la Maestría en Tecnología Informática, quienes llevan a cabo su pasantía de investigación al tiempo que identifican temas en los que puedan desarrollar su tesis. Además se cuenta con la colaboración de alumnos de la mencionada Diplomatura.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alcazar J., Leyton-Ortega, V. and A. Perdomo-Ortiz (2020). Classical versus Quantum Models in Machine Learning: Insights from a Finance Application in *arXiv:1908.10778v2 [quant-ph]* 8 Jan 2020.
- [2] Braña, J.P., Litterio, A.M.J. and A. Fernández (2018). "FSAL: Lixión financiero de sentimiento en español rioplatense diseñado para "Bolsas y Mercados Argentinos" (BYMA) en Revista Abierta de Informática Aplicada (RAIA), vol.2, Nro1, 2018. ISSN: 2591-5320. Disponible en: <http://portalreviccion.uai.edu.ar/ojs/index.php/RAIA/article/view/159>
- [3] Braña, J.P., Litterio, A.M.J. and A. Fernández. (2020). "Inteligencia Artificial y Computación Cuántica en Finanzas". XXII Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación WICC 2020. Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA), El Calafate, Santa Cruz, Argentina, 25 de Mayo de 2020.
- [4] Dasgupta, S., Banerjee A. (2019). Quantum Annealing Algorithm for Expected Shortfall based Dynamic Asset Allocation in *arXiv:1909.12904v1 [q-fin.RM]* 27 Sep 2019.
- [5] Egger, D., García Gutiérrez, R., Cahuá Mestre, J. and S. Woerner (2019). Credit Risk Analysis using Quantum Computers in *arXiv:1907.03044v1 [quant-ph]* 5 Jul 2019.
- [6] Hao, W., Lefevre, C., Tamturk, M. and S. Ulev. (2019). Quantum option pricing and data analysis in *Quantitative Finance and Economics*, QFE, 3(3): 490–507. DOI:10.3934/QFE.2019.3.490
- [7] Grant, E., Humble, T. and B. Stump (2021). Benchmarking Quantum Annealing Controls with Portfolio Optimization, in *Physical Review Applied* 15,014012. DOI: 10.1103/PhysRevApplied.15.014012
- [8] Hodson, M., Ruck, B., Ongy, H., Garvin, D., and S. Dulma8 Gonzalez-Conde, J., Rodríguez-Rosas, A., Solano, E. and M. Sanz (2021). Pricing Financial Derivatives with Exponential Quantum Speedup in Quantum Physics (quant-ph), *arXiv:2101.04023 [quant-ph]*. (2019). Portfolio rebalancing experiments using the Quantum Alternating Operator Ansatz in *arXiv: 1911.05296v1 [quant-ph]* 13 Nov 2019.
- [10] Kerenidis, I., Prakash, A. and D. Szilagy. (2019). Quantum Algorithms for Portfolio Optimization in *arXiv: 1908.08040v1 [math.OC]* 22 Aug 2019.
- [11] Mahajan, R.P. (2011). A Quantum Neural Network Approach for Portfolio Selection in *International Journal of Computer Applications*, Volume 29– No.4, September 2011.
- [12] Markowitz, H. (1952). Portfolio Optimization in *The Journal of Finance* Vol. 7, No. 1 (Mar., 1952), pp. 77-91
- [13] Marzecz, M. (2016). "Portfolio Optimization: Applications in Quantum Computing", en Ionut Florescu, Maria C. Mariani, H. Eugene Stanley, Frederi G. Viens (eds.) *Handbook of High-Frequency Trading and Modeling in Finance*. John Wiley & Sons, Inc.
- [14] Martín, A., Candelas, B., Rodríguez-Rozas, Martín-Guerrero, J. Chen, X., Lamata, L., Orus, R., Solano, E. and M. Sanz (2019). Towards Pricing Financial Derivatives with an IBM Quantum Computer in *arXiv:1904.05803v1 [quant-ph]* 11 Apr 2019
- [15] Mugel, S., Kuchkovsky, C., Sánchez, E., Fernández-Lorenzo, S., Luis-Hita, J., Lizaso, E. and R. Orús (2020). Dynamic Portfolio Optimization with Real Datasets Using Quantum Processors and Quantum-Inspired Tensor Networks, in *arXiv:2007.00017 [quant-ph]*
- [16] Orrell, D. (2020). A Quantum Walk Model of Financial Options (January 1, 2020). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3512481> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3512481>
- [17] Orus, R., Mugel, S. and E. Lizaso (2019). Quantum computing for finance: overview and prospects in *Reviews in Physics*, Volume 4, November 2019, 100028. <https://doi.org/10.1016/j.revip.2019.100028>
- [18] Stamatopoulos, N., Egger, D.J., Sun, Y., Zoufal, C., Iten, R., Shen, N. and S. Woerner. (2020). Option Pricing using Quantum Computers in *arXiv: 1905.02666 [quant-ph]*, 17 Feb 2020.
- [19] Woerner, S., Egger, D.J. Quantum risk analysis. En *NPJ Quantum Inf*, 5, 15 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41534-019-0130-6>.
- [20] Zeng, W. and Coecke, B. (2016) Quantum Algorithms for Compositional Natural Language Processing in Kartsaklis, D., Lewis, M. and Rimell, L. (Eds) *2016 Workshop on Semantic Spaces at the Intersection of NLP, Physics and Cognitive Science (SLPCS'16)* EPTCS 221, 2016, pp. 67–75, doi:10.4204/EPTCS.221.8
- [21] IBM Qiskit Portfolio Optimization Tutorial [https://qiskit.org/documentation/tutorials/finance/01\\_portfolio\\_optimization.html](https://qiskit.org/documentation/tutorials/finance/01_portfolio_optimization.html)



Figura 1. Panel de Benchmark entre las tres carteras de inversión

**UAI**

Universidad Abierta Interamericana  
 El futuro sos vos.

[www.uai.edu.ar](http://www.uai.edu.ar)



Reconocida Internacionalmente por la acreditadora CQAIE (Washington, USA)