



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Teoría de recursos cuánticos contextuales para la integración robusta de ordenadores cuánticos y agentes cooperativos

Descripción general (resumen y metodología):

Descripción general, resumen y metodología

Este Trabajo Fin de Grado se plantea como continuación directa del TFG “Simulación de circuitos cuánticos y computación de alto rendimiento en clústeres heterogéneos”, desarrollado por Marina Benítez Sánchez. El nuevo trabajo mantiene el foco en **Física Computacional**, simulación cuántica, computación de alto rendimiento, análisis de recursos y construcción de software científico reproducible.

El objetivo será diseñar, implementar y analizar una arquitectura modular para workflows cuánticos e híbridos, con énfasis en kernels computacionales, ejecución distribuida, integración HPC, routing de tareas, simulación clásica, tolerancia a fallos y análisis espectral de errores. El trabajo podrá combinar ejecución local, cómputo distribuido mediante **OpenMPI**, aceleración en **GPU NVIDIA RTX**, exploración de aceleradores **FPGA AMD Alveo V80** y despliegue reproducible en entornos Linux como **AlmaLinux**.

La propuesta integra herramientas de computación cuántica y software científico como **OpenQASM**, **PyZX**, **Pauli Based Computation**, Python, C/C++, Cython, PyPL como capa intermedia, bindings Python, APIs REST/OpenAPI/FastAPI, Django quantum workflows e interfaces web responsivas. El objetivo no es construir una plataforma industrial completa, sino un prototipo académico claro, modular y verificable.

El marco teórico incluye métodos algebraicos en computación cuántica, algoritmos cuánticos, física de muchos cuerpos, códigos de Floquet, time crystals, circuitos normalizadores, tolerancia a fallos, corrección cuántica aproximada de errores, resource theory of contextuality JJBV, funciones de Wigner generalizadas CNC, teorías bulk-boundary, teorías de kinks y análisis contextual de sistemas multiagente.

La implementación podrá adoptar una estructura **woman-in-the-middle**: una capa mediadora que conecta backend científico, kernels HPC, APIs REST, interfaces IO, módulos multiagente LLM y workflows cuánticos, manteniendo separación de responsabilidades, trazabilidad y reproducibilidad.

Pistas posibles

Pista A · Kernels HPC, OpenMPI, GPU/FPGA y simulación cuántica

Esta pista se centrará en construir kernels de simulación o análisis para circuitos cuánticos, con énfasis en ejecución distribuida, aceleración y benchmarking. Podrá incluir OpenMPI, Python, C/C++, Cython, PyPL, bindings Python, NVIDIA RTX, FPGA Alveo V80, SLURM y AlmaLinux.

El trabajo podrá implementar kernels pequeños para aplicación de puertas, simulación de circuitos, contracciones tensoriales, análisis de memoria, routing de tareas, comparación CPU/GPU/FPGA o planificación de ejecución distribuida.

Pista B · OpenQASM, PyZX, Pauli Based Computation y lenguajes diagramáticos

Esta pista se centrará en integración de lenguajes y compilación: OpenQASM como entrada, PyZX como capa diagramática, Pauli Based Computation como modelo de medición y circuitos normalizadores como marco algebraico. El objetivo será construir una arquitectura pequeña para traducir, visualizar, simplificar o analizar circuitos y recursos.

El trabajo podrá incluir routing de circuitos, reglas de reescritura, diagramas ZX, kernels algebraicos, análisis de recursos mágicos/contextuales y conexión con tolerancia a fallos o approximate quantum error correction.

Pista C · Workflows híbridos, errores disipativos, multiagentes y QEC contextual

Esta pista estudiará workflows híbridos cuántico-clásicos, integración HPC/QPU, asignación de recursos, análisis espectral de errores disipativos en flujos de clúster bajo SLURM y composición de módulos científicos con APIs REST/Django/FastAPI.

También podrá explorar la integración de sistemas multiagente LLM con módulos de computación cuántica, corrección topológica de errores, teorías bulk-boundary y teorías de kinks, siempre a escala TFG y con ejemplos pequeños y verificables.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

Objetivos planteados

1. Continuar la línea del TFG de Benite desde una perspectiva de Física Computacional e implementación HPC.
2. Diseñar una arquitectura modular para simulación cuántica, workflows híbridos o análisis de recursos.
3. Construir kernels computacionales pequeños para simulación, routing, análisis de memoria, análisis de errores o ejecución distribuida.
4. Explorar ejecución con OpenMPI, CPU multicore, GPU NVIDIA RTX o FPGA Alveo V80, según viabilidad técnica.
5. Integrar OpenQASM, PyZX o Pauli Based Computation como lenguajes de entrada, análisis o transformación.
6. Implementar una capa intermedia en Python, C/C++, Cython, PyPL o bindings Python.
7. Diseñar una API composicional mediante REST, OpenAPI, FastAPI o Django quantum workflows.
8. Construir una interfaz responsiva o IO mínima para ejecución, visualización o trazabilidad de módulos.
9. Estudiar circuitos normalizadores, métodos algebraicos, algoritmos cuánticos o física de muchos cuerpos según la pista elegida.
10. Explorar Floquet codes, time crystals, tolerancia a fallos o approximate quantum error correction mediante ejemplos pequeños.
11. Analizar espectralmente errores disipativos, cuellos de botella o fallos de integración en workflows de clúster.
12. Relacionar la arquitectura con contextualidad composicional JJBV, resource theory of contextuality y funciones de Wigner generalizadas CNC.
13. Integrar, si procede, sistemas multiagente LLM como capa de coordinación, documentación o composición contextual.
14. Preparar una memoria técnica con arquitectura, kernels, metodología, benchmarks, limitaciones y guía de reproducción.

Bibliografía básica:

Bibliografía básica

- Marina Benítez Sánchez, “Simulación de circuitos cuánticos y computación de alto rendimiento en clústeres heterogéneos”, Trabajo Fin de Grado, Universidad de Granada, 2025/2026.
- Antonio Jesús Rivera Pérez, “Tensor Networks in Quantum Computing”, Trabajo Fin de Máster, Universidad de Granada, supervised by Jara Juana Bermejo Vega and Filipa C. R. Peres.
- Giulio Camillo, Filipa C. R. Peres, Markus Heinrich and Juani Bermejo-Vega, “Symmetry-Accelerated Classical Simulation of Clifford-Dominated Circuits”, manuscript / preprint, 2025.
- Sergey Bravyi, Dan Browne, Padraic Calpin, Earl Campbell, David Gosset and Mark Howard, “Simulation of quantum circuits by low-rank stabilizer decompositions”, Quantum 3, 181, 2019.
- Daniel Gottesman, “The Heisenberg Representation of Quantum Computers”, PhD thesis, 1997.
- Jara Bermejo-Vega and Maarten Van den Nest, “Classical simulations of Abelian-group normalizer circuits with intermediate measurements”, Quantum Information and Computation 14, 0181-0216, 2014.
- Jara Bermejo-Vega, C. Y. Y. Lin and Maarten Van den Nest, “Normalizer circuits and a Gottesman-Knill theorem for infinite-dimensional systems”, arXiv:1409.3208, 2014.
- Jara Bermejo-Vega and K. C. Zatloukal, “Abelian hypergroups and quantum computation”, arXiv:1509.05806, 2015.
- Jara Bermejo-Vega, Nicolas Delfosse, Dan E. Browne, Cihan Okay and Robert Raussendorf, “Contextuality as a resource for models of quantum computation on qubits”, Physical Review Letters 119, 120505, 2017.
- Robert Raussendorf, Dan E. Browne, Nicolas Delfosse, Cihan Okay and Jara Bermejo-Vega, “Contextuality and Wigner-function negativity in qubit quantum computation”, Physical Review A 95, 052334, 2017.
- Samson Abramsky and Adam Brandenburger, “The sheaf-theoretic structure of non-locality and contextuality”, New Journal of Physics 13, 113036, 2011.

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Recomendaciones

Es recomendable tener interés en Física Computacional, computación cuántica, programación científica, computación distribuida, álgebra lineal, métodos numéricos, simulación de circuitos, lenguajes de computación cuántica, HPC y diseño de software científico. Se valorará positivamente experiencia básica con Python, C/C++, Julia, Git, Linux, APIs web, OpenMPI o fundamentos de mecánica cuántica.

No se espera que una sola persona cubra todas las tecnologías. Cada estudiante trabajará en una única pista, con herramientas acotadas y objetivos adecuados al alcance de un TFG.

Plazas: 3

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: JARA JUANA BERMEJO VEGA

Ámbito de conocimiento/Departamento: FÍSICA DE LA MATERIA CONDENSADA

Correo electrónico: jbermejovega@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos:

Ámbito de conocimiento/Departamento:

Correo electrónico:

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

Centro de convenio Externo:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos:

Correo electrónico: