

Optimización de Rutas de Recolección de Residuos Usando el Algoritmo Cuántico de Enjambre de Partículas con Lorentz: Caso de estudio ESPOL

PROBLEMA

La recolección de residuos sólidos en entornos urbanos, incluyendo campus universitarios como ESPOL, presenta desafíos logísticos complejos. Las rutas ineficientes pueden generar altos costos operativos, mayor huella ambiental y uso inadecuado de recursos. A pesar de la existencia de algoritmos clásicos como TSP y VRP, se necesita explorar nuevas alternativas más adaptativas y precisas para escenarios reales y dinámicos.

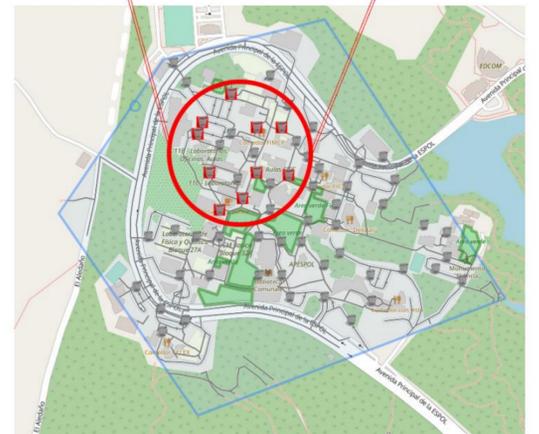
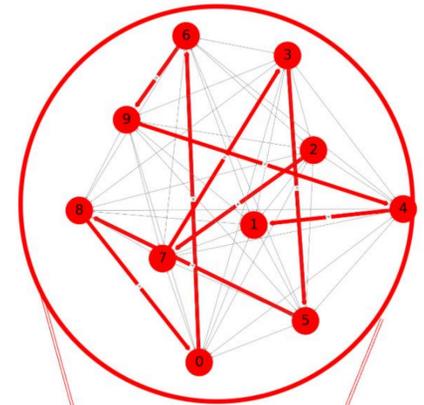
OBJETIVO GENERAL

Aplicar y evaluar el algoritmo **Lorentz Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO-LR)** para la optimización de rutas de recolección de residuos en el campus de ESPOL, analizando su desempeño frente al algoritmo PSO tradicional, y destacando su capacidad de adaptación, eficiencia y precisión en distintos escenarios de complejidad.

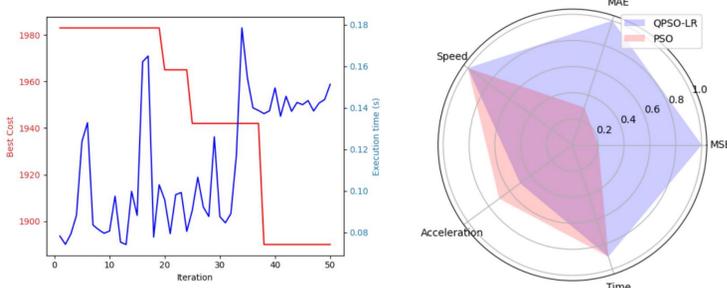
PROPUESTA

La propuesta de este estudio consiste en aplicar el algoritmo **Lorentz Quantum Particle Swarm Optimization (QPSO-LR)** para la optimización de rutas de recolección de residuos sólidos en el campus de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL). Este algoritmo, inspirado en principios de la mecánica cuántica y del comportamiento colectivo de partículas, ofrece una alternativa innovadora frente a métodos clásicos como el PSO convencional. El enfoque se centra en rutas peatonales, utilizando distancias obtenidas a través de la **API de Google Maps** para construir una matriz de adyacencia precisa entre los puntos de recolección. Esto permite modelar el problema como una red con trayectos realistas, optimizando la secuencia de recorrido que minimiza la distancia total.

Para evaluar la efectividad del QPSO-LR, se realizaron **pruebas en tres escenarios con diferente número de puntos de recolección: 10, 100 y 500**. Se compararon métricas como tiempo de ejecución, velocidad de convergencia, precisión y errores absolutos, frente al desempeño del algoritmo PSO. Además, se implementó una función de costo que evalúa la calidad de las rutas generadas, y se realizó un análisis de sensibilidad para entender el impacto del número de partículas en el comportamiento del algoritmo. La propuesta demuestra que QPSO-LR no solo es competitivo, sino que también aporta mejoras significativas en términos de eficiencia y adaptabilidad en entornos logísticamente complejos como un campus universitario.



RESULTADOS



- Precisión superior: menores valores de error absoluto medio (MAE) y error cuadrático medio (MSE) en comparación con PSO.
- Análisis de sensibilidad mostró que el número de partículas (nPop) afecta el tiempo de ejecución y la convergencia, pero no de manera significativa al costo óptimo de la ruta.
- Ambos algoritmos encontraron la misma ruta óptima en cuanto a distancia, pero QPSO-LR lo hizo con mayor eficiencia computacional.

- QPSO-LR demostró una convergencia más rápida que PSO en todos los escenarios, con menos iteraciones requeridas.
- Tiempo de ejecución menor para QPSO-LR en escenarios pequeños y medianos, aunque con un incremento proporcional al número de puntos.

CONVERGENCE SPEED AND ACCELERATION OF THE ALGORITHMS

| | QPSO-LR | | | PSO | | |
|---------------------------------|---------|-------|-------|--------|-------|-------|
| | 10 | 100 | 500 | 10 | 100 | 500 |
| Convergence speed | 0.0468 | 2.41 | 97.47 | 0.0643 | 2.47 | 98.45 |
| Convergence acceleration | 0.28 | 0.016 | 0.56 | 0.36 | 0.025 | 0.78 |

SENSITIVITY ANALYSIS OF THE QPSO-LR ALGORITHM

| | # Particle (nPop) | | | | |
|--------------------------------|-------------------|-------|--------|--------|--------|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| Execution time (s) | 4.12 | 7.514 | 12.097 | 18.842 | 26.739 |
| Convergency (iteration) | 45 | 40 | 10 | 61 | 71 |
| Best Cost (m) | 2342 | 2473 | 2258 | 2246 | 2235 |

CONCLUSIONES

- El algoritmo QPSO-LR es una solución prometedora y efectiva para la optimización de rutas de recolección de residuos.
- Su enfoque cuántico le otorga alta adaptabilidad y precisión, haciéndolo adecuado para entornos reales como un campus universitario.

- Es fundamental ajustar cuidadosamente el parámetro nPop para equilibrar el tiempo de ejecución y la calidad de las soluciones.
- QPSO-LR superó a PSO en precisión, velocidad de convergencia y consistencia de resultados.
- Se planean futuras mejoras que incorporen variables de tiempo y factores humanos en la función de costo, para una planificación más realista y eficiente.