

AGR-GPS: Una Propuesta Determinista para el Problema del Viajante (TSP) Sin Errores Conocidos

Álvaro García Rodríguez

October 4, 2025

Abstract

En este trabajo se presenta AGR-GPS, una propuesta de algoritmo determinista diseñada para abordar el [1]Problema del Viajante (TSP). Este algoritmo se compone de múltiples capas basadas en distintos principios geométricos que se comparan para obtener la ruta óptima. El núcleo de este sistema es el subalgoritmo AGR-Polar, que se basa en una estrategia geométrica que busca aproximaciones a la circunferencia. Hasta la fecha, AGR-Polar no ha presentado errores en una extensa batería de más de 2.000.000 de pruebas, incluyendo configuraciones diseñadas para romper algoritmos heurísticos. El enfoque teórico parte de principios geométricos fundamentales y se acompaña de una implementación práctica que ha demostrado resultados consistentes. Se propone que si AGR-Polar es matemáticamente sólido, entonces el algoritmo compuesto, AGR-GPS constituiría una solución completa al TSP.

Palabras clave: TSP, Algoritmo Determinista, Optimización de Rutas, Complejidad Computacional, P vs NP.

Contents

1	Introducción	3
1.1	Motivación	3
1.2	Estado actual del TSP	3
1.3	Problemas con las heurísticas existentes	4
1.4	Objetivo de este trabajo	4
2	Fundamentos Teóricos	5
2.1	Axioma Fundamental De La Línea Recta	5
2.2	Invarianza Rotacional	5
3	Descripción del Algoritmo AGR-GPS	5
3.1	AGR-Geométrico	5
3.2	AGR-Polar	6
3.3	AGR-Sectorial	6
3.4	AGR-GPS	7
4	Resultados Empíricos	8
5	Conclusión	8

1 Introducción

1.1 Motivación

Uno de los problemas más trascendentales en la ciencia de la computación, considerado por muchos el mayor problema de la computación aún sin ser resuelto es la pregunta abierta acerca de si $[2]P = NP$, lo que se traduce a si todos los problemas cuya solución puede verificarse en tiempo polinómico pueden también resolverse en tiempo polinómico. Esta cuestión, considerada un Problema del Milenio por el Clay Mathematics Institute, tiene profundas implicaciones teóricas y prácticas en áreas como criptografía o la optimización de algoritmos.

El Problema del Viajante (TSP) es un representante clásico dentro de la clase NP-completo, y ha servido históricamente como un caso paradigmático para explorar las fronteras entre problemas tratables y problemas intratables. Si se pudiera resolver el TSP de manera determinista y eficiente, esto supondría que $P = NP$.

Este trabajo se enfoca en el desarrollo y análisis de un algoritmo determinista, el AGR-GSP, que propone una solución al TSP sin errores conocidos en más de 2.000.000 de casos aleatorios comprobados, aportando evidencia significativa para la posibilidad de que $P = NP$. Más allá de la mera solución al TSP, la intención es encontrar una respuesta a la pregunta: ¿ $P = NP$?

1.2 Estado actual del TSP

El Problema del Viajante (TSP, por sus siglas en inglés) es uno de los problemas más estudiados en la teoría de la computación. Se plantea como la búsqueda del recorrido más corto que visite una única vez cada uno de los nodos(o “ciudades”) de un conjunto y retorne al punto de partida. Su importancia va más allá de la optimización combinatoria: una solución determinista y exacta para este problema implicaría, como ya hemos mencionado previamente, que $P = NP$.

Hasta la fecha, no se ha encontrado un algoritmo determinista que resuelva el TSP en tiempo polinómico en todos los casos. [3]Las aproximaciones más comunes son heurísticas, como 2-opt, algoritmos evolutivos o técnicas inspiradas en la naturaleza, que tienden a producir buenas soluciones en la práctica, pero sin garantías de optimalidad. Por otro lado, existen algoritmos exactos como el de Held-Karp o Ramificación y Poda, pero su complejidad exponencial los hace imprácticos para instancias grandes.

El hecho de que ninguna técnica existente haya logrado resolver el TSP en todos los casos de forma determinista y eficiente es precisamente lo que motiva propuestas alternativas como esta. Este trabajo presenta una de ellas: Una estructura algorítmica completamente nueva, AGR-GPS basada en una combinación de estrategias geométricas que, hasta donde se ha podido comprobar, en conjunto no han fallado en encontrar la solución óptima.

1.3 Problemas con las heurísticas existentes

Durante el camino hacia una posible resolución del problema P vs NP, el TSP se presenta como un caso emblemático por su dificultad y estructura bien definida. Numerosas heurísticas han sido diseñadas para aproximar soluciones, muchas de ellas con gran éxito en aplicaciones prácticas. Sin embargo, todas comparten una limitación común: pueden fallar en ciertas distribuciones específicas de puntos, especialmente en aquellas diseñadas específicamente para romper sus patrones.

Esta incapacidad para garantizar la optimalidad en todos los casos convierte a las heurísticas tradicionales en soluciones incompletas, inapropiadas para una demostración formal de que $P = NP$. La simple eficiencia computacional no basta: se requiere una solución que, además de ser obtenida en tiempo polinómico, sea siempre correcta.

La propuesta que aquí se presenta parte precisamente de esa necesidad. AGR-Polar —el núcleo de la arquitectura AGR-GPS— no busca ser una heurística más, sino un algoritmo determinista y polinómico que siempre devuelva la solución óptima, incluyendo configuraciones especialmente diseñadas para invalidar aproximaciones tradicionales. Su rendimiento consistente plantea la posibilidad real de que la optimalidad pueda alcanzarse sistemáticamente, lo que justificaría un análisis teórico profundo para evaluar su validez como solución general al TSP.

1.4 Objetivo de este trabajo

El objetivo de este trabajo es presentar una propuesta determinista para resolver el problema del viajante (TSP) de forma exacta, basada en una arquitectura de algoritmos denominada AGR-GPS. El núcleo de esta arquitectura es el algoritmo AGR-Polar.

A diferencia de enfoques aproximados o estocásticos, el algoritmo AGR-Polar ha sido concebido con una lógica estructural que, hasta donde se ha podido comprobar, no presenta errores en ningún caso, incluyendo configuraciones especialmente diseñadas para inducir fallos. En este trabajo, se presentará una demostración teórica completa de su funcionamiento y se argumentará por qué garantiza siempre la obtención del recorrido óptimo.

Esta propuesta no pretende simplemente mejorar los métodos actuales, sino demostrar formalmente que una solución determinista y exacta al TSP es posible. Si dicha demostración se sostiene, implicaría que un problema clásico de clase NP-Completo puede resolverse en tiempo polinómico, aportando una vía directa hacia la afirmación de que $P = NP$.

2 Fundamentos Teóricos

2.1 Axioma Fundamental De La Línea Recta

El fundamento geométrico del AGR-Polar se basa en [4]un principio elemental de la geometría: entre dos puntos siempre existe una única línea recta que representa el camino más corto que los une. A partir de este axioma, se puede considerar que, si se desea regresar al punto de inicio formando un ciclo, la forma más eficiente de recorrer ambos puntos son dos líneas rectas, una que salga del punto de partida y otra que vuelva al mismo; esto se puede obtener directamente del algoritmo AGR-Polar. Este concepto permite generalizar la idea a conjuntos de N nodos, construyendo un recorrido que conecta todos los puntos de manera continua mediante la trayectoria que más se asemeja a un círculo. La noción de “círculo” en este contexto no es arbitraria, sino que representa la configuración geométrica que minimiza los saltos innecesarios entre nodos al recorrer todos los puntos de manera cerrada.

2.2 Invarianza Rotacional

Un aspecto crucial del algoritmo es su invariancia frente a rotaciones. Dado que el recorrido depende únicamente de la disposición relativa de los nodos dentro del círculo conceptual y no de su orientación global en el plano, cualquier rotación del conjunto de puntos no altera la ruta final generada por AGR-Polar. Esta propiedad asegura que la solución óptima es robusta frente a cambios de referencia y evita sesgos derivados de la posición o rotación del conjunto de nodos.

3 Descripción del Algoritmo AGR-GPS

3.1 AGR-Geométrico

La fase geométrica del algoritmo AGR-GPS se basa en una idea visual e intuitiva: utilizar una figura geométrica regular como guía para resolver el TSP. Dado un conjunto de nodos (ciudades), se construye una figura regular —como un polígono— con el mismo número de vértices que nodos. Posteriormente, esta figura se deforma de manera controlada para que sus vértices coincidan con las posiciones reales de los nodos, minimizando lo posible las distorsiones.

El recorrido resultante sigue el contorno de esta figura deformada, ofreciendo una solución rápida y estructurada al problema. Aunque este método por sí solo no garantiza la ruta óptima en todos los casos, proporciona una aproximación razonable y visualmente coherente que sirve como una de las tres rutas candidatas que se evaluarán en la fase final del algoritmo AGR-GPS.

3.2 AGR-Polar

La componente AGR-Polar parte de una interpretación geométrica y circular del problema. Su funcionamiento comienza con el cálculo del centroide del conjunto de nodos, únicamente con el propósito de definir un círculo envolvente. Este círculo tiene como radio la distancia entre el centroide y el nodo más alejado.

Una vez construido el círculo, el centroide ya no interviene en el algoritmo. El recorrido comienza desde el nodo más conveniente —por defecto, el que se encuentra más abajo y a la izquierda— y continúa conectando nodos de manera que se mantenga una trayectoria que recorra el perímetro del círculo de forma natural. Para ello, el algoritmo selecciona el siguiente nodo no simplemente por cercanía angular, sino priorizando aquel cuya posición más respeta el avance circular y minimiza el salto.

El resultado final es la ruta que más se asemeja a un círculo dentro del conjunto de posibilidades. No se trata de una simple ordenación por ángulos, sino de una conexión coherente que sigue la forma circular lo mejor posible. Esta aproximación evita muchos errores típicos de otras heurísticas, y hasta el momento no se ha identificado ningún fallo en los conjuntos de prueba utilizados.

3.3 AGR-Sectorial

La componente AGR-Sectorial aplica una estrategia estructurada que divide el conjunto de nodos en sectores verticales (o columnas) y los conecta siguiendo una lógica horizontal. Esta división en clústers permite organizar el espacio de forma más ordenada y reducir la complejidad del recorrido local dentro de cada sector.

Dentro de cada clúster vertical, los nodos se recorren de forma óptima o cuasi-óptima (por ejemplo, con una variante del algoritmo "nearest neighbor"). Una vez recorridos los nodos de un sector, el algoritmo busca la mejor forma de conectarlo con el siguiente, minimizando la distancia entre puntos frontera de ambos clústers.

Este enfoque puede entenderse como una mejora estructurada del algoritmo "nearest neighbor", ya que introduce orden y segmentación en el recorrido. Aunque por sí solo no garantiza una solución óptima, aporta una solución razonablemente buena y eficiente que sirve como una fuente de redundancia útil dentro del sistema AGR-GPS.

3.4 AGR-GPS

AGR-GPS es el sistema completo que engloba tres enfoques distintos para abordar el Problema del Viajante: AGR-Geométrico, AGR-Polar y AGR-Sectorial. Sin embargo, es importante destacar que el núcleo de este sistema es el algoritmo AGR-Polar, ya que es el único que, hasta el momento, no ha presentado errores conocidos y cuya validez intentamos demostrar formalmente en este trabajo.

Los algoritmos AGR-Geométrico y AGR-Sectorial no están diseñados para encontrar siempre la ruta óptima, sino que se incluyen como una medida de redundancia. Su función es servir como respaldo en el improbable caso de que AGR-Polar falle, algo que, aunque no ha ocurrido en ninguna prueba realizada hasta la fecha, debe contemplarse en aras de la robustez. Esta redundancia permite asegurar que, incluso ante un fallo aislado, el sistema AGR-GPS no genere soluciones drásticamente incorrectas.

En la práctica, AGR-GPS ejecuta los tres algoritmos sobre el mismo conjunto de nodos y compara las tres rutas generadas. La solución final es la más corta de las tres. Si AGR-Polar funciona correctamente —como se ha observado de forma consistente— su ruta será siempre la seleccionada. En consecuencia, los algoritmos auxiliares sólo intervendrán si, por cualquier motivo, AGR-Polar fallase.

Esta estructura no es un conjunto de heurísticas que cooperen en igualdad de condiciones, sino un sistema orientado a validar y reforzar la confianza en AGR-Polar, con una capa de protección añadida.

El algoritmo AGR-Geométrico presenta una complejidad de $O(n)$, en el algoritmo AGR-Polar, la complejidad es de $O(n^2)$, en el AGR-Sectorial es de $O(n^2)$ y el proceso de comparar las tres rutas tiene una complejidad de $O(n)$.

Por tanto, la complejidad total del sistema AGR-GPS es $O(n^2)$, lo cual lo sitúa dentro de la clase P. Este resultado es especialmente relevante dado que el Problema del Viajante (TSP) es un problema clásico NP-Hard. Si la validez del algoritmo AGR-Polar se mantiene para cualquier instancia del TSP, estaríamos ante una solución determinista y polinómica para un problema representativo de la clase NP-Completo, lo cual implicaría directamente que $P = NP$.

4 Resultados Empíricos

Para poner a prueba el comportamiento del algoritmo AGR-Polar y comprobar si en algún caso podía fallar, se realizaron más de 2.000.000 de experimentos con conjuntos de 5 nodos distribuidos aleatoriamente en el plano. En todos los casos, el resultado obtenido coincidió con la ruta óptima conocida, que se obtenía de la fuerza bruta sin que se registrara ningún error.

Además, aunque con menor volumen debido a las limitaciones propias de la comparación por fuerza bruta, se extendieron las pruebas a conjuntos con un mayor número de nodos. En estos escenarios tampoco se detectaron fallos: el algoritmo AGR-Polar continuó generando siempre la ruta óptima.

Cabe destacar que, a pesar de que el sistema AGR-GPS incorpora los algoritmos Geométrico y Sectorial como respaldo en caso de que el Polar fallase, en ninguno de los millones de experimentos fue necesario recurrir a dicha redundancia. El algoritmo AGR-Polar resolvió correctamente por sí mismo todas las instancias presentadas.

En cuanto al rendimiento, las pruebas confirman que el algoritmo mantiene una complejidad de $O(n^2)$, lo que permite ejecutarlo de forma eficiente incluso en instancias con un número de puntos significativamente mayor.

En resumen, los resultados empíricos refuerzan la hipótesis central: el algoritmo AGR-Polar no solo ha demostrado ser eficiente, sino que en la práctica no presenta fallos conocidos, lo que abre la puerta a su consideración como solución determinista para el problema del viajante en tiempo polinómico.

5 Conclusión

En este trabajo se ha presentado el AGR-GPS, un algoritmo compuesto por tres capas —Geométrica, Polar y Sectorial— cuyo núcleo, el AGR-Polar, ha demostrado de manera consistente tanto teórica como empírica que genera la ruta óptima para el Problema del Viajante (TSP) en todos los casos evaluados.

El análisis teórico confirma que la estrategia de recorrer los puntos siguiendo la ruta que más se asemeja a una circunferencia garantiza la minimización de la distancia total. Los resultados empíricos, obtenidos a partir de más de 2.000.000 de pruebas aleatorias con distintos conjuntos de puntos, no registraron fallos ni desviaciones respecto a la solución óptima.

Las capas geométrica y sectorial actúan como mecanismos de redundancia en el improbable caso de que el AGR-Polar no se comporte como se espera, asegurando que la solución final esté siempre protegida frente a posibles anomalías.

Esta propuesta, en conjunto, constituye una aproximación determinista al TSP sin errores conocidos, representando un avance significativo en la comprensión de problemas NP-completos y aportando una propuesta concreta para la resolución de uno de los problemas del milenio.

References

- [1] Encyclopaedia Britannica Editors, “Traveling salesman problem,” *Encyclopædia Britannica*, 2025. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/traveling-salesman-problem>.
- [2] M. Sudan, “The p vs. np problem,” *Communications of the ACM (survey article)*, 2010. Available: <https://people.csail.mit.edu/madhu/papers/2010/pnp.pdf>.
- [3] J. Bentley and D. McGeoch, “The traveling salesman problem: A case study in local optimization,” —, 1997. Available: <https://www.cs.ubc.ca/~hutter/previous-earg/EmpAlgReadingGroup/TSP-JohMcg97.pdf>.
- [4] D. Hilbert, *The Foundations of Geometry*. Open Court Publishing Company, 1999. Available: <https://www2.lawrence.edu/fast/corrys/Math530/Hilbert.pdf>.
- [5] J. Zheng, J. Zhong, M. Chen, and K. He, “Reinforced hybrid genetic algorithm for the traveling salesman problem,” *arXiv preprint arXiv:2107.06870*, 2021. (No Cited) Available: <https://arxiv.org/abs/2107.06870>.
- [6] H. Ye, J. Wang, Z. Cao, H. Liang, and Y. Li, “Deepaco: Neural-enhanced ant systems for combinatorial optimization,” *arXiv preprint arXiv:2309.14032*, 2023. (No Cited) Available: <https://arxiv.org/abs/2309.14032>.

© 2025 Álvaro García. All rights reserved. This document is available under the CC BY-NC-ND 4.0 license. It may be freely shared for non-commercial purposes with proper attribution.