

Reparto de aeronaves de extinción de incendios en condicións extremas.

Marta Rodríguez Barreiro^{1,2}, Silvia María Lorenzo Freire^{1,3} y María Luisa Carpenente Rodríguez¹

¹Universidade da Coruña, Departamento de Matemáticas.

²Centro de Investigación e Tecnoloxía Matemática de Galicia (CITMAga).

³Centro de Investigación en Tecnoloxías da Información e as Comunicacions (CITIC).

RESUMO

Neste traballo preséntase un modelo de optimización lineal enteira mixta para propoñer un reparto óptimo de aeronaves de extinción nunha situación na que hai moitos incendios forestais activos e os recursos existentes non son suficientes para satisfacer as necesidades de todos eles. Para isto, desenvolveuse un modelo de optimización que propón minimizar as desigualdades entre incendios seguindo a filosofía dos *minimum envy problems*. Para establecer o reparto, o modelo ten en conta as características dos incendios activos (tamaño e proximidade a poboacións), as características das aeronaves que se poden asignar (capacidade e posición), e tamén a reserva de aeronaves, aqueles medios que non deben asignarse a incendios activos por se se iniciase un novo incendio. Ademais do modelo, presentaranse dous métodos de resolución baseados en técnicas heurísticas, xa que con Gurobi non se conseguiron resultados óptimos en tempos axeitados. O modelo de optimización e os algoritmos de resolución propostos foron probados utilizando instancias de datos reais.

Palabras e frases chave: Reparto óptimo, *minimum envy problems*, incendios forestais, MILP, heurística.

1. INTRODUCCIÓN

Os incendios forestais son un dos grandes problemas medioambientais que afrontamos na actualidade. O aumento das temperaturas derivadas do cambio climático xunto co abandono do rural, levan a que os incendios forestais sexan cada ano de condicións máis extremas, sendo máis difíciles de controlar e de maior tamaño. Este último verán tivemos diversos exemplos en España e en Galicia de incendios de condicións extremas, perigosos para a poboación e os medios de extinción, que acabaron queimando un grande número de hectáreas. Unha das características dos incendios deste ano, ademais da virulencia dos mesmos, foi a simultaneidade. Ademais de ser grandes incendios, nos que as condicións de extinción xa son complicadas pola temperatura que acadan, a velocidade, e a dirección do vento cambiante, o grande número de incendios activos á vez complicou aínda máis as tarefas de extinción. Nesta situación, a distribución dos recursos é clave para tratar de minimizar os danos provocados por todos os incendios. O modelo que se presenta pretende abordar a xestión do reparto dos recursos de extinción aéreos entre os incendios activos, tendo en conta a posibilidade de que se inicien incendios novos.

2. MODELO DE REPARTO DE MEDIOS AÉREOS DE EXTINCIÓN

O modelo desenvolto propón un reparto de aeronaves que minimice as desigualdades entre incendios activos tendo tamén en conta a necesidade de deixar medios na reserva, é dicir, aeronaves que non son asignadas a ningún incendio activo por si se iniciasen incendios novos.

Para medir a desigualdade entre incendios, o modelo proposto compara as aeronaves que lle faltan por asignar a cada un dos incendios activos e tamén á reserva. Para isto, hai que proporcionar como dato de entrada un número de aeronaves que idealmente deberían traballar en cada un dos incendios activos, igual que un número de aeronaves que idealmente se deben quedar na reserva. No caso no que os medios aéreos dispoñibles son suficientes para satisfacer as necesidades de todos os incendios, simplemente se asignan as aeronaves máis próximas ós incendios activos. A funcionalidade deste modelo está pensada para casos extremos, nos que todos os medios dispoñibles non son suficientes para satisfacer as necesidades de todos os incendios, polo que se procura facer un reparto equitativo de medios.

Os incendios activos clasifícanse en cinco niveis de perigo, e en función deste nivel hai un número de aeronaves que idealmente deben traballar na extinción deste incendio. Ademais, o usuario asigna unha

porcentaxe de aeronaves que deben quedar na reserva, e en base a esta porcentaxe asígnanse un número de recursos que idealmente se deben quedar sen asignar a ningún incendio. Deste xeito, establécese un reparto minimizando as diferencias entre incendios, medindo non o número de aeronaves asignadas a cada incendio, senón o número de aeronaves que quedan sen asignar en función das que idealmente necesitarían.

O problema modélase nun grafo, no que os nodos se corresponden cos incendios activos e as posicións iniciais das aeronaves, e os arcos teñen asociado o tempo que lle leva a cada aeronave recorrer dito arco. Na función obxectivo, utilízase a orde lexicográfica para minimizar en primeiro lugar as diferencias entre as asignacións ós incendios e á reserva, e en segundo lugar a distancia que percorren as aeronaves. Deste xeito, conséguese que unha vez establecido o mellor reparto, as aeronaves que se asignan a cada incendio sexan as máis próximas aos mesmos.

O modelo executouse empregando instancias de datos reais utilizando o solver Gurobi. En moitos casos non se conseguiron bos resultados en intervalos de tempo axeitados, dada a situación de emerxencia na que se empregaría este modelo. Por tanto, preséntanse dous algoritmos de resolución baseados en técnicas heurísticas como o *Simulated Annealing* e o *Iterated Local Search*, adaptadas ás condicións do problema.

Preséntanse tamén algúns resultados obtidos de simulacións en instancias de datos reais, comparando os resultados das heurísticas cos do solver Gurobi.

REFERENCIAS

- Blanco, V., Marín, A. and Puerto, J. (2024) Intra-facility equity in discrete and continuous p-facility location problems. *Computers and Operations Research*, 162, 106487.
- Eglese, R. W. (1990) Simulated Annealing: A tool for Operational Research. *European Journal of Operational Research*, 46(3), 271–281.
- Espejo, I., Martín, A., Puerto, J. and Rodríguez-Chía, A. M. (2009) A comparison of formulations and solution methods for the minimum-envy location problem. *Computers and Operations Research*, 36, 6, 1966–1891.
- Kirkpatrick, S. Gelatt Jr, C.D. and Vecchi, M. P. (1983) Optimization by simulated annealing. *Science*, 220 (4598), 671–680.
- Lourenço, H. R., Martin, O. C., and Stützle, T. (2010) Iterated local search: Framework and Applications. In Gendreau, M. and Potvin, J. Y. (Eds.). *Handbook of metaheuristics*, 2, 129–159.