



PLANIFICACIÓN ÓPTIMA DE MEDIOS DE EXTINCIÓN DE INCENDIOS FORESTALES

Marta Rodríguez Barreiro¹

Manuel Antonio Novo Pérez²:

María José Ginzo Villamayor³:

Resumen

La gestión de los medios de extinción durante su trabajo en un incendio forestal es clave en el éxito de la misión. La distribución de los medios teniendo en cuenta la normativa y su seguridad, las condiciones del incendio, que no haya tiempos en los que ningún medio está trabajando para que el incendio no se des controle... son decisiones importantes que deben ser tomadas en un corto período de tiempo y bajo unas condiciones de estrés. Se presenta un algoritmo desarrollado para apoyar la toma de este tipo de decisiones. Se trata de dos modelos de programación lineal entera mixta que permite establecer la planificación óptima de las brigadas terrestres o los medios aéreos, teniendo en cuenta la normativa española vigente y minimizando los períodos de tiempo en los que ningún medio está trabajando activamente en el incendio. El modelo se ha desarrollado en Python empleando Pyomo, lo que permite que pueda ser resuelto con diferentes solvers. Además de los modelos, se ha desarrollado una pequeña aplicación, utilizando Python y Shiny, que permite al usuario, ejecutar y visualizar la planificación resultante.

Palabras-clave: planificación, incendios forestales, medios de extinción, MILP, Python.

Abstract

The management of extinguishing resources during their work in a wildfire is key to the success of the mission. The distribution of the resources considering the regulations and their safety, the conditions of the wildfire, the fact that there are no times when no resources are working so that the wildfire does not get out of control... are important decisions that must be taken in a short period of time and under stressful conditions. An algorithm developed to support such decisions is presented. They are two mixed integer linear programming model that allows to establish the optimal planning of terrestrial brigades or aerial resources, considering the current Spanish regulations and minimising the periods of time in which no resources is actively working on the wildfire. The model has been developed in Python using Pyomo, which allows it to be solved with different solvers. In addition to the model, a small application has been developed, using Python and Shiny, which allows the user to execute and visualise the resulting planning.

Keywords: planning, wildfires, extinguishing resources, MILP, Python.

¹ Centro de Investigación y Tecnología Matemática de Galicia (CITMAga),
marta.rodriguez.barreiro@usc.es

² Centro de Investigación y Tecnología Matemática de Galicia (CITMAga),
manuelantonio.novo.perez@usc.es

³ Universidad de Santiago de Compostela (USC) y Centro de Investigación y Tecnología Matemática de Galicia (CITMAga), mariajose.ginzo@usc.es



Introducción

La gestión de recursos de extinción de incendios forestales se ha abordado desde la investigación operativa desde diferentes perspectivas: asignación de recursos a bases antes de que se inicie la temporada de incendios (Lewis *et al.*, 2013), asignación de recursos al incendio para el ataque inicial (Wiitala, 1999, asignación de recursos a zonas del incendio (Bergestein y Pereira, 2023) o la planificación completa del trabajo de los recursos (Rodríguez-Veiga *et al.*, 2023). La forma de afrontar el problema también varía en función del objetivo que se persigue. Alvelos (2018) presenta un conjunto de modelos de programación entera mixta para optimizar la localización de recursos de extinción de incendios centrándose en cuatro aspectos diferentes: la protección de áreas específicas durante el incendio, la minimización del área total quemada, la contención del incendio garantizando que no se inicien nuevas igniciones en un período de tiempo dado, y la contención del incendio porque los recursos se han desplegado alrededor de todo el perímetro.

Granda *et al.* (2023) realizan una revisión bibliográfica en la que incluyen 36 artículos que contienen modelos de optimización para la extinción de incendios.

El algoritmo que se presenta en este trabajo tiene un modelo para la planificación de medios aéreos, que se basa en uno propuesto por Rodríguez-Veiga *et al.* (2018), y otro para la planificación de medios terrestres. El usuario puede decidir cuál de los dos modelos quiere ejecutar para obtener la planificación correspondiente.

El algoritmo ha sido desarrollado en colaboración con la empresa Avincis ES, que tiene aeronaves de emergencias que trabajan en la extinción de incendios forestales. El algoritmo está sujeto a un acuerdo de confidencialidad con esta empresa que es propietaria de los datos de entrada.

Objetivo

El objetivo de este trabajo es obtener la planificación óptima de los medios de extinción en un incendio forestal. Para ello se elaboran dos modelos de programación lineal entera mixta, uno para los recursos aéreos y otro para los terrestres.

A partir de los datos de entrada del usuario, el algoritmo procesa la información, decide qué modelo de optimización ejecutar, lo resuelve, y luego procesa la información de salida.

La planificación proporcionada por el modelo indica en qué intervalo de tiempo debe trabajar cada medio de extinción minimizando los tiempos en los que ningún recurso está



trabajando en el incendio. Además, permite que el usuario introduzca ciertas preferencias, por ejemplo, el número de recurso que requiere que trabajen en un período de tiempo dado en el incendio. Como segundo objetivo, el modelo trata de minimizar el incumplimiento de los requisitos del usuario.

El modelo respeta la normativa vigente para la planificación de los medios. En el caso de los medios terrestres, el algoritmo considera diferentes zonas del incendio en las que éstas pueden trabajar y tiene en cuenta si pueden acceder a estas zonas todas las brigadas o sólo las helitransportadas.

Material y Métodos

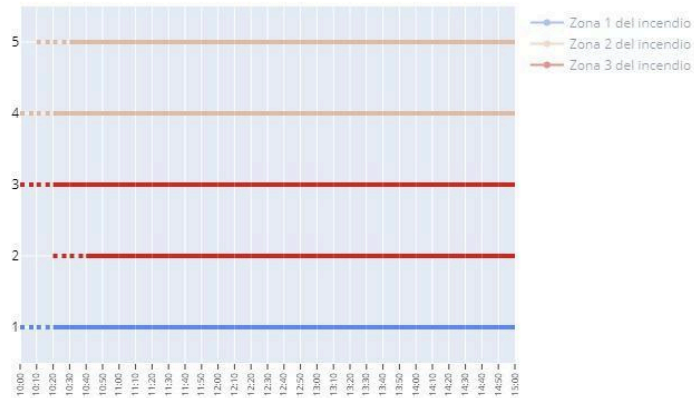
El algoritmo se ha desarrollado en Python (Van Rossum y Drake, 2009) empleando Pyomo (William *et al.*, 2011). Además, con la ayuda de Shiny (Posit Software, 2022) con Python, se ha desarrollado una pequeña aplicación de uso interno que facilita la ejecución del algoritmo y la visualización de los resultados.

El modelo de planificación de medios aéreos se ha podido ejecutar con datos reales de helicópteros de extinción y de las bases de repostaje, proporcionados por la empresa Avincis. Se ha validado con diversas ejecuciones que la planificación propuesta por el algoritmo cumple la normativa aérea vigente, mientras minimiza la existencia de tiempos secos y, en segundo lugar, el no cumplimiento de los requisitos del coordinador.

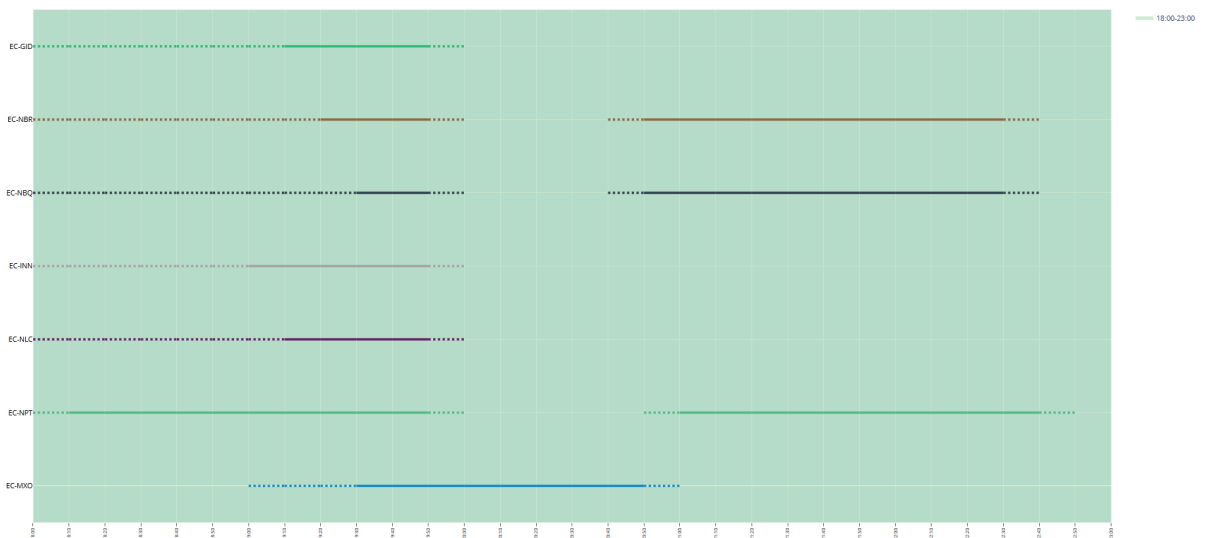
En el caso de las brigadas terrestres, el algoritmo se ha ejecutado con datos simulados. La posición inicial de las brigadas y la posición del incendio son datos reales, pero se ha simulado la cantidad de brigadas disponibles para trabajar y sus condiciones iniciales.

Resultados y Discusión

A continuación, se muestra un ejemplo de la salida del algoritmo para medios terrestres. Se trata de cinco brigadas (representadas en el eje vertical), una de ellas helitransportada, y tres zonas del incendio. En la imagen se ve el período en el que debe trabajar cada brigada. Las líneas punteadas representan el desplazamiento de la brigada, mientras que las líneas sólidas representan el tiempo de trabajo efectivo. Los diferentes colores representan las diferentes zonas del incendio.



En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de una planificación de 7 aeronaves. En este modelo no se distingue entre zonas del incendio. Como en la imagen anterior, las aeronaves están representadas en el eje vertical. Las líneas de puntos representan los desplazamientos de las aeronaves, y las líneas sólidas su tiempo de trabajo en el incendio.



Conclusiones

La solución aportada proporciona un apoyo a la planificación de los medios de extinción en un incendio forestal. Es una planificación que se adapta a los requisitos establecidos por el usuario, que decide los medios que participarán en el incendio, la duración de la planificación y de los intervalos en los que se dividirá.



El algoritmo cumple con la normativa de vuelo y de los medios terrestres en cuanto a descansos, horas de trabajo máximas y horas de trabajo consecutivo. Además, evita, en la medida de lo posible, que existan tiempos secos en los que ningún medio trabaje en el incendio. En el caso de las aeronaves, también establece que, una vez que una aeronave empieza a trabajar en el incendio, lo haga durante el máximo tiempo que le sea posible, evitando desplazamientos innecesarios entre la base y el incendio.

Aunque no se ve explícitamente en la solución, en la que sólo indica cuando los medios están trabajando o descansado, los modelos desarrollados tienen en cuenta los desplazamientos entre las posiciones iniciales y el incendio, así como en las bases de descanso.

Como trabajo futuro, se podría mejorar el detalle del modelo, estableciendo dónde los recursos deben cargar agua, en qué zonas del incendio debe trabajar (en esta versión esto sólo se hace para medios terrestres).

Referencias

ALVELOS, Filipe. **Mixed integer programming models for firefighting**. Computational Science and Its Applications, 10961, 2018.

BERGSTEN MENDES, André; ALVELOS, Filipe. **Iterated local search for the placement of wildland fire suppression resources**. European Journal of Operational Research, 304(3), 2023.

CHANDRA, Rakesh Vidya; VARANASI, Bala Subrahmanyam. **Python requests essentials**. Packt Publishing Ltd, 2015.

HARRIS, Charles R.; MILMAN, K. Jarrod; VAN DER WALT, Stéfan J.; *et al.* **Array programming with Numpy**. Nature 585, 2020.

GRANDA, Bibiana; LEÓN, Javier; VITORIANO, Begoña; HEARNE, John. **Decision support models and methodologies for fire suppression**. Fire 6, 37, 2023.

HART, William E.; WATSON, Jean-Paul; WOODRUFF, David L. **Pyomo: modelling and solving mathematical programs in Python**. Mathematical Programming Computation, 3(3), 2011.

MCKINNEY, Wes. **Data structures for statistical computing in Python**. Proceedings of the 9th Python Science Conference, 445, 2010.

NTAIMO, Lewis; GALLEGO-ARRUBIA, Julian; GAN, Jianbang; STRIPLING, Curt; YOUNG, Joshua; SPENCER, Thomas. **A simulation and stochastic integer programming approach to wildfire initial attack planning**. Forest Science, 59(1), 2013.

POSIT SOFTWARE. **Shiny for Python**. 2022.

RODRÍGUEZ-VEIGA, Jorge; GÓMEZ-COSTA, Iván; GINZO-VILLAMAYOR, María José; CASAS-MÉNDEZ, Balbina; SÁIZ-DÍAZ, José Luis. **Assignment problems in wildfires suppression: Models for optimization of aerial resource logistics**. Forest Science, 65(5), 2018.

RODRÍGUEZ-VEIGA, Jorge; PENAS, David; GONZÁLEZ-RUEDA, Ángel Manuel; GINZO-VILLAMAYOR, María José. **Application of decomposition techniques in a wildfire suppression optimization model**. Optimization and Engineering, 2023.

VAN ROSSUM, Guido; DRAKE, Fred L. **Python 3 Reference Manual**. Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009.

WIITALA, Marc R. **A Dynamic programming approach to determining optimal forest wildfire initial attack Responses**. Fire Economics, Planning and Policy: Bottom Lines, 1999.