

Diseño de modelo de optimización para localización de red de sensores de detección temprana de incendios en el Bosque La Primavera

Integrantes: Felipe Domínguez, Juan Esteban López, Juan José Osorio y Nataly Rojas

Director: Fabián Castaño

1 DEFINIR

Contexto

Caso de estudio: Incendios en la Primavera

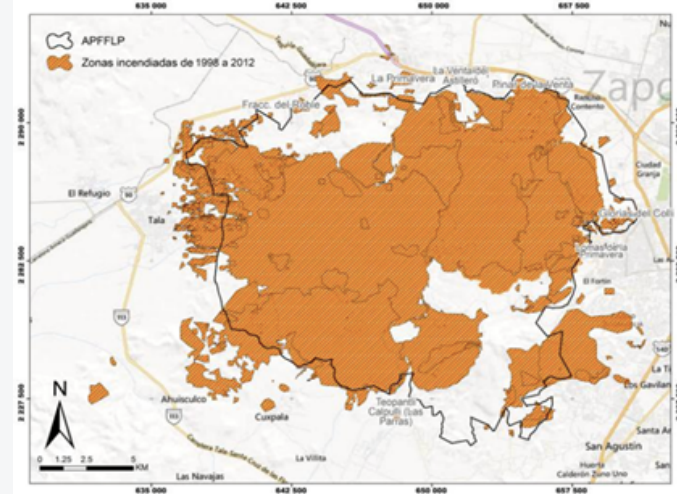


Fig. 1. Área incendiada entre 1998 y 2012 [1]

Justificación

Beneficios

- Minimizar los costos del sistema de detección
- Garantizar la cobertura apropiada
- Diseño y validación eficiente
- Referente para posible aplicación en otras áreas de interés como en Colombia

Sistema de detección temprana de incendios



Stakeholders

Equipo de Investigación

Situación actual

- Tiempo elevado de ejecución
- Localización indefinida

Problema de Localización de Máxima Cobertura (MCLP)

2 MEDIR

Medición del sistema actual

Estado actual: nodos sensores desplegados aleatoriamente, sin localización definida. Los datos a continuación son a partir de una simulación de Montecarlo en Julia

Resultados KPI Meta

Tiempo promedio hasta detección 2,86 épocas*

1,43 épocas*

Coefficiente de correlación de Spearman 0,935

*Unidad ficticia que representa periodo entre revisiones

% de Área promedio quemada 46,873%

23,43%

Tiempo de ejecución X10 veces

Máx. 60 min.

*En minutos

Costos de implementación USD 548 363

≤ USD 548 363

*A partir de cotizaciones de solo hardware

3 ANALIZAR

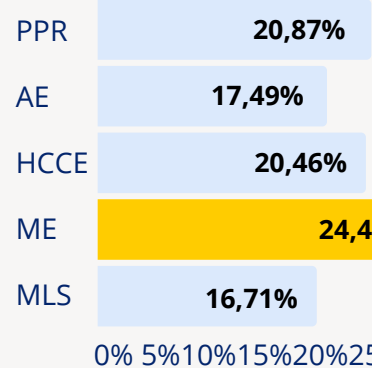
Alternativas propuestas

- Programación Por Restricciones (PPR)
- Algoritmos Evolutivos (AE)
- Heurísticas Constructivas con Criterios Especificados (HCCE)
- Modelo Estocástico (ME)
- Modelo en Local Solver (MLS).

Criterios

- Facilidad de implementación
- Costos de implementación
- Tiempo de ejecución
- Calidad de la solución

Resultado jerarquización AHP



Objetivo general

Diseñar un modelo de optimización para definir la localización de una red de sensores inalámbricos para minimizar el tiempo hasta detección

Objetivos específicos:

- Identificar en la literatura modelos para la localización de sensores
- Adaptar el modelo para incluir aspectos estocásticos
- Diseñar una estrategia de solución para el modelo
- Validar la propuesta por medio de simulación

4 DISEÑAR

Modelo matemático

$$\text{Maximizar: } \frac{1}{|E|} * \sum_{e \in E} \sum_{n \in N} y_{ne} P_{ne}$$

s.t.

$$\sum_n x_n * B_{nm} \geq y_{ne} \quad \forall n \in N, m \in N, e \in E$$

$$\sum_n x_n = S \quad x_n, y_{ne} \geq 0 \quad \forall n \in N, e \in E; x_n, y_{ne} \in [0,1]$$

Parámetros

P_{ne} → Prioridad de cobertura de un nodo n

$\in N$ en el escenario $e \in E$

B_{nm} → 1 si nodo $m \in N$ se encuentra en la zona de cobertura de $n \in N$, 0 de lo contrario

S → número de sensores a ubicar

Variables de decisión

x_n → 1 si se ubica un sensor en el nodo n , 0 d.l.c.

y_{ne} → 1 si en el escenario e el nodo n está monitoreado por al menos un sensor, 0 d.l.c

Validación

Indicador de inflamabilidad

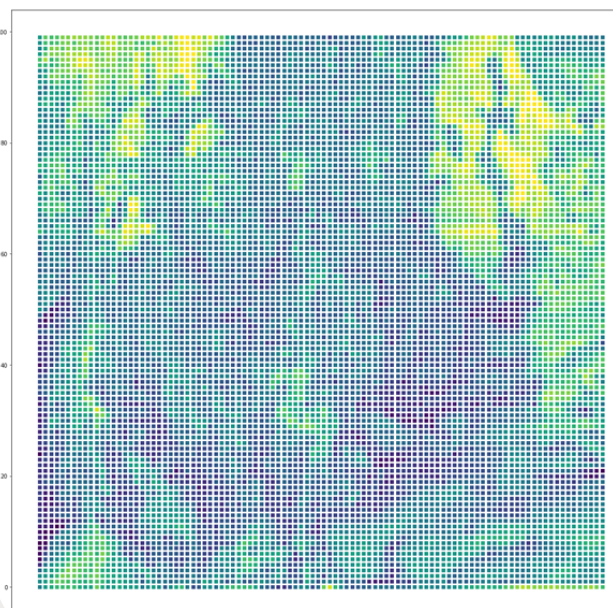


Fig. 2. Mapa de bits del área

Expansión de incendio

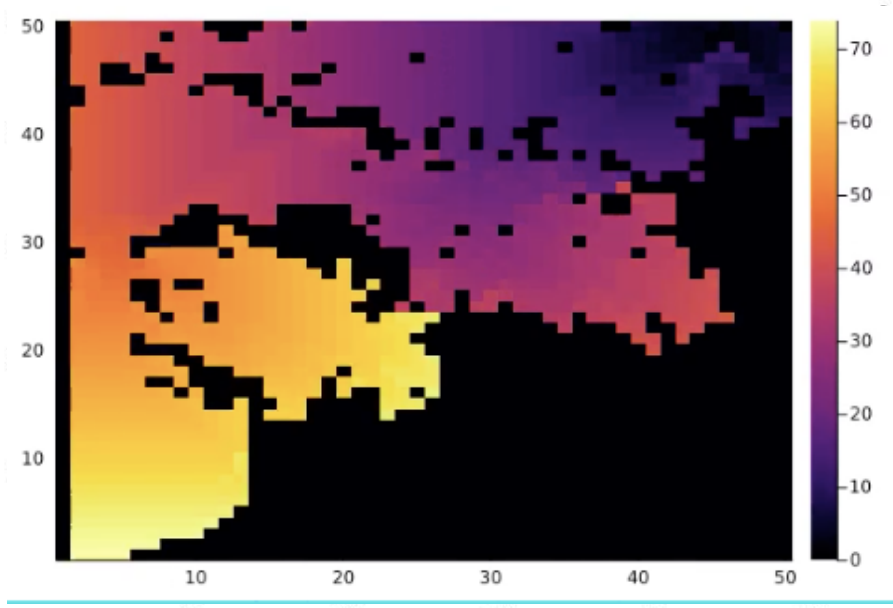


Fig. 3. Generación de escenario de incendio

Resultados Random vs. Optimized

Tiempo promedio hasta detección -43,48%
%Área quemada promedio -43,30%

5 VERIFICAR

Impacto financiero

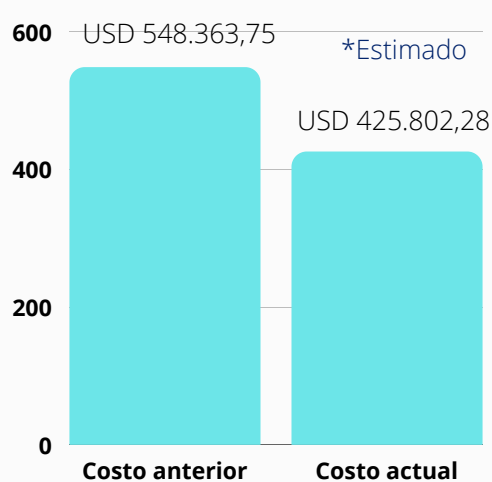


Fig. 4. Variación costos de implementación

Impacto ambiental

Cálculos según Balde y Vega-García [2]

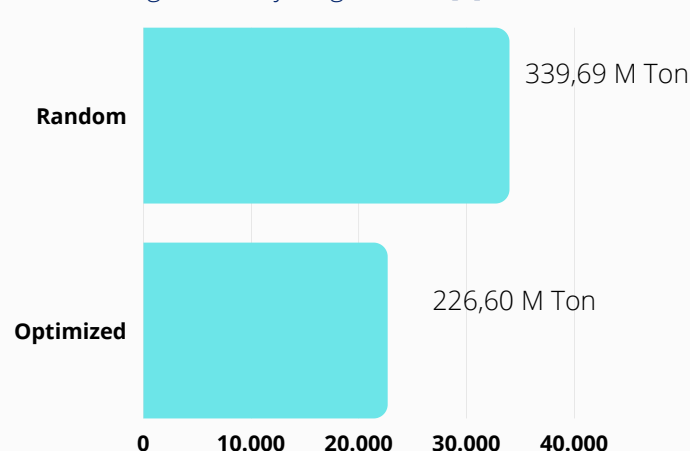


Fig. 5. Comparación emisiones de CO2

ROI 12,26

Tiempo promedio hasta detección 18,34 épocas*

*Unidad ficticia que representa periodo entre revisiones

% de Área promedio quemada 1,8713%

Tiempo de ejecución 6,63

*En segundos

Costos de implementación USD 1043,05 - USD 3129,15

Conclusiones

- Se logró diseñar un modelo de optimización con parámetros estocásticos.
- La simulación de Montecarlo es una aproximación inicial.
- Se validaron con éxito los resultados, permitiendo presentar una mejora en los KPI del 43% vs. escenarios de ubicación aleatoria.
- La solución permite reducir el impacto ambiental en la mayoría de los escenarios. La evaluación financiera demuestra un impacto positivo.

Recomendaciones

- Posibilidad de incorporar más factores estocásticos.
- Integración con el trabajo del equipo de Guadalajara.
- Implementación de metaheurísticas que permitan la aplicación del modelo sobre áreas más extensas.
- Se recomienda por último el uso de un equipo con mejores especificaciones técnicas.

[1] F. Huerta Martínez y J. L. Ibarra Montoya, "Incendios en el Bosque la Primavera: un acercamiento a sus posibles causas y consecuencias," CienciaUAT, pp. 23-32, 2014.

[2] C. Vega-García, "Estimación de emisiones de GEI y sus trayectorias en grandes incendios forestales en Cataluña, España," Inst. Ecol. A.C, vol. 25, no. 2, 2019, [En línea] Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/617/61762610002/html/>.