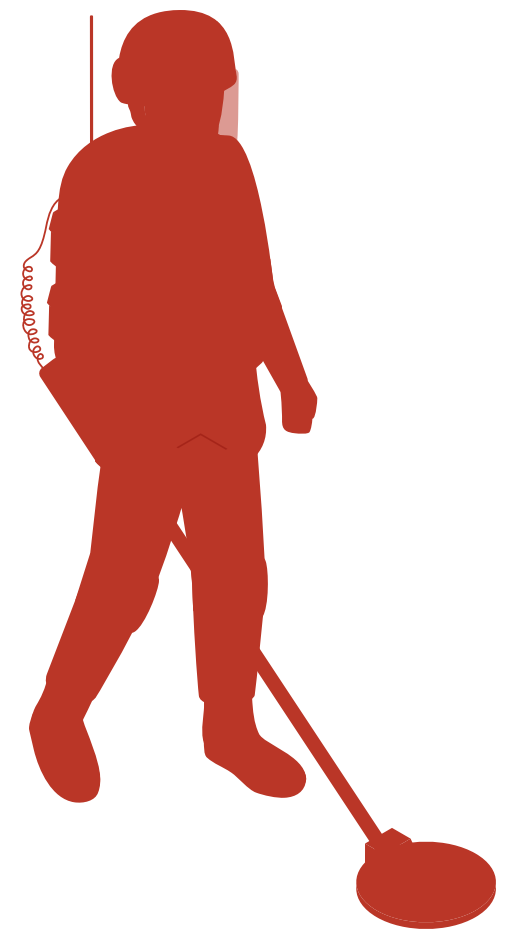


# Diseño de Modelo de Ruteo Eficiente para Búsqueda de Minas Antipersona en Colombia

Estudiantes: Santiago Gamboa & Santiago Serna

Director: Daniel Morillo Torres Ph.D.

## DEFINIR



A octubre de 2020, se registran 11.947 víctimas por MAP\* y MSE\* de las cuales el 19,5% fueron fatales [1]

Se han reportado 114 sospechas de MAP, durante 2016 - 2020 [2]

1 Mina

# 360

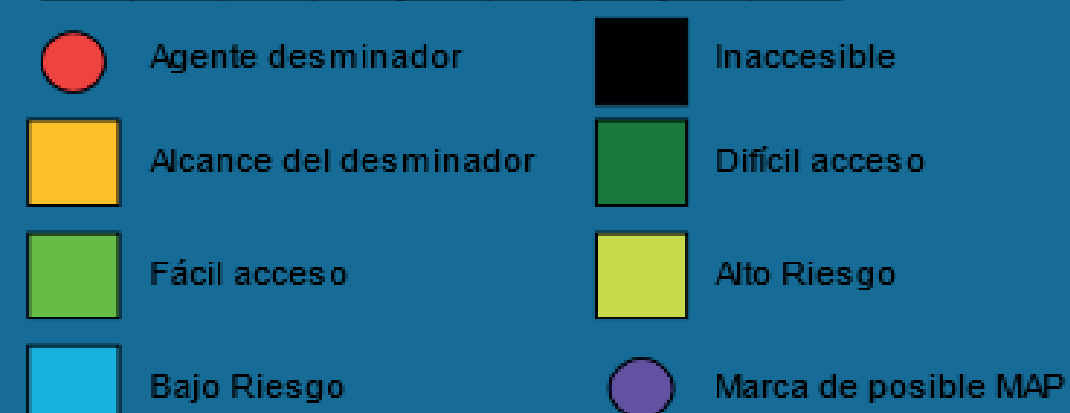
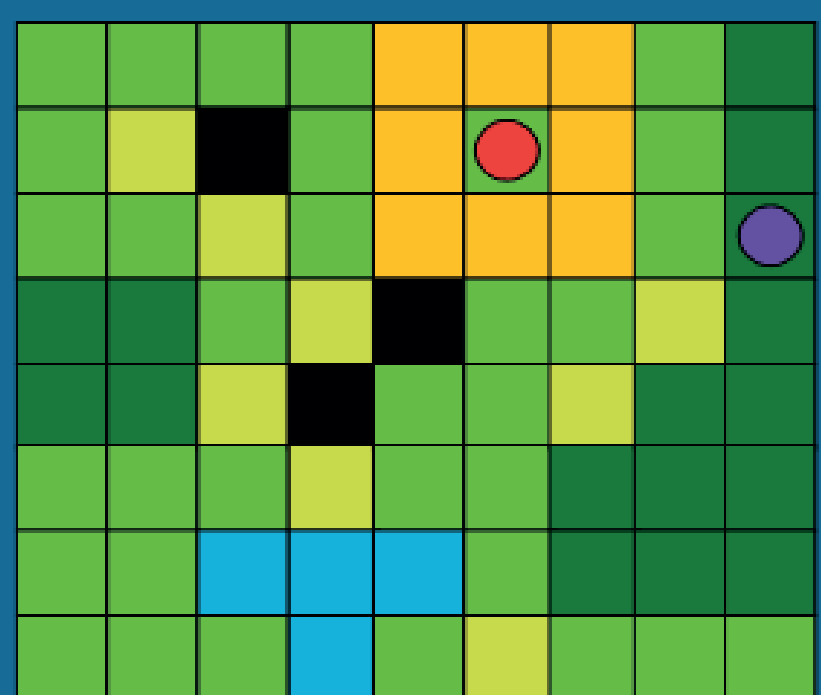
veces cuesta removerla

Diseñar un modelo que genere rutas para recorrer completamente el área minada buscando minimizar el riesgo al que se expone el agente y los costos asociados a la tarea.

\*MAP: Mina Antipersonal  
\*MSE: Munición Sin Explosionar

## MEDIR

Mediante un algoritmo genérico, se obtuvieron los datos de la siguiente tabla, al evaluar 48 instancias cuyas dimensiones varían desde 100 hasta 3600 nodos

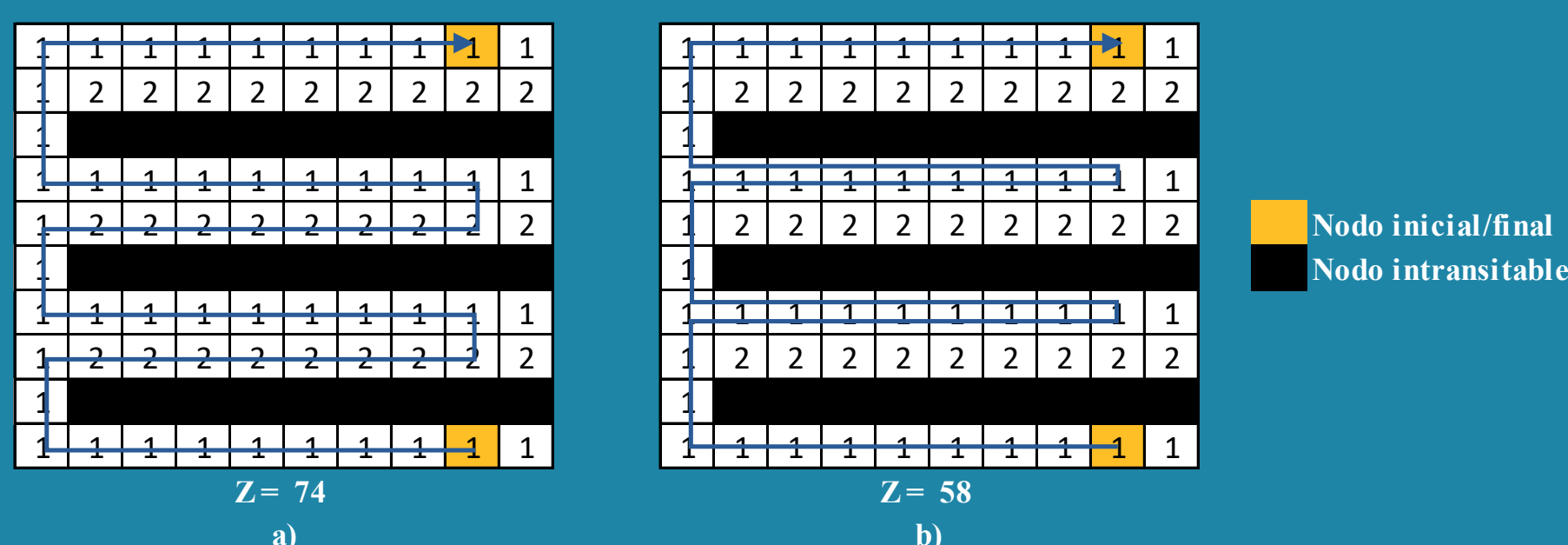


Indicador	Actualidad	Meta
Costo Total Porcentual	93%	< 93%
Porcentaje de Área Cubierta	99%	= 100%
Riesgo Asumido Porcentual	92%	< 92%

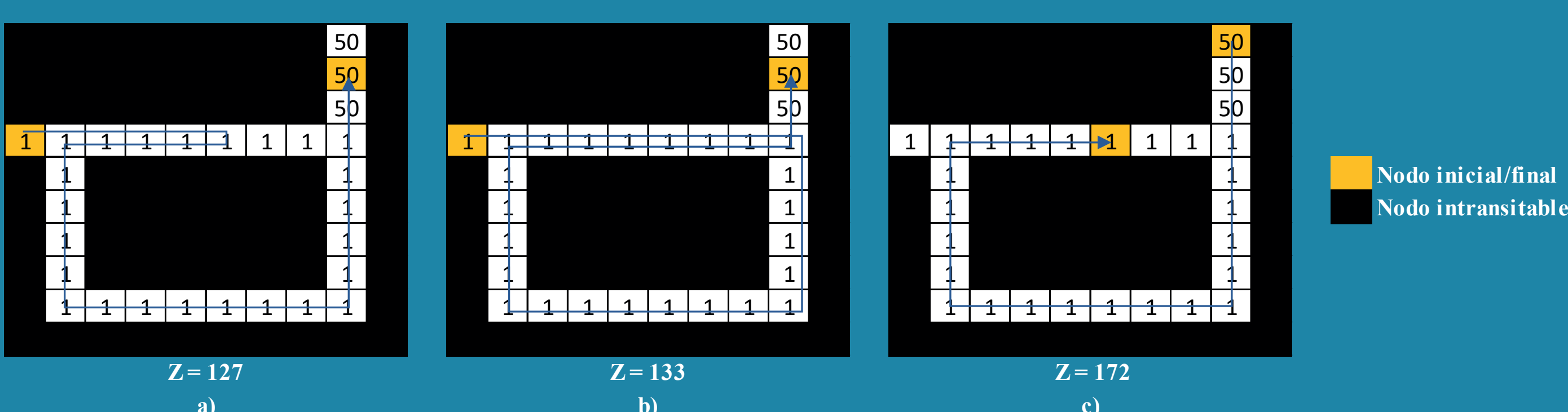
## ANALIZAR

El diseño propuesto consiste en un modelo de programación lineal entera mixta para resolver el Shortest Covering Path (SCP), basado en el modelo modificado de Niblett y Church (2016) [3], [4]. Este consiste en determinar la ruta de menor distancia, entre un nodo inicial y uno final, que recorra determinada región, donde todas las subregiones de esta estén a un rango máximo a la ruta, denominado alcance.

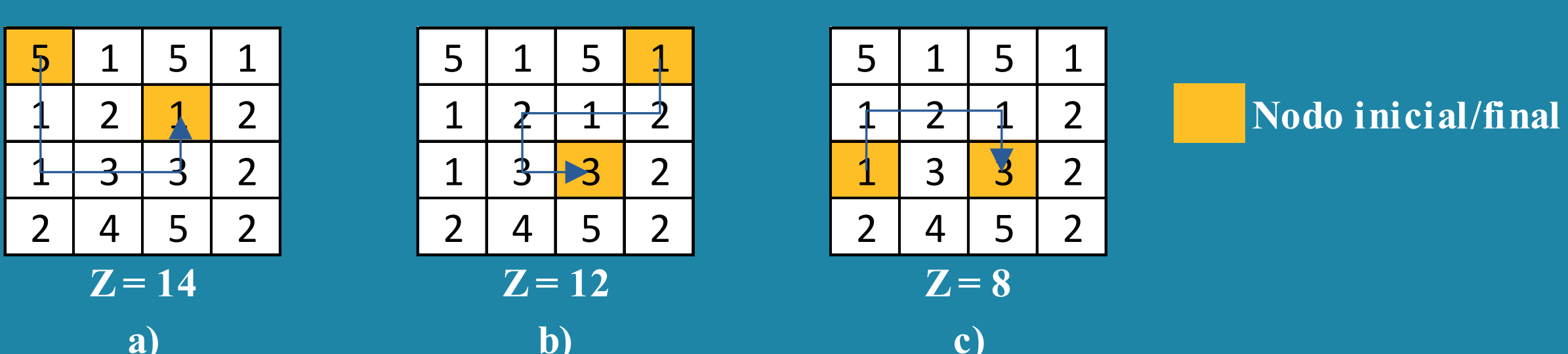
### SUBTOUR EMBEBIDO



### MULTIARCO



### ORIGEN DINÁMICO



## DISEÑAR

### FUNCIÓN OBJETIVO

$$\text{Minimize } z = \frac{(\text{Costo} - z_{\text{costo}}^*)}{(z_{\text{costo}}^{\text{Nadir}} - z_{\text{costo}}^*)} * \beta + \frac{(\text{Riesgo} - z_{\text{riesgo}}^*)}{(z_{\text{riesgo}}^{\text{Nadir}} - z_{\text{riesgo}}^*)} * (1 - \beta)$$

### ADYACENCIA

$$x_{ij} \leq A_{ij} * w_{ij} * N, \forall (i, j) \in \text{Arcs}, i \neq 0$$

$$x_{ij} \geq w_{ij}, \forall (i, j) \in \text{Arcs}, i \neq 0$$

### ORIGEN

$$\sum_{j \in \text{Nodes}, j \neq p} x_{pj} - \sum_{i \in \text{Nodes}, i \neq p} x_{ip} \geq 2 * y_p - 1, \forall p \in \text{Borders}$$

$$x_{0p} = y_p, \forall p \in \text{Nodes}$$

$$\sum_{p \in \text{Borders}} y_p = 1$$

$$\sum_{k \in \text{Nodes}, k \notin \text{Borders}} y_k = 0$$

### BALANCE

$$\sum_{j \in \text{Nodes}, j \neq k} x_{kj} - \sum_{i \in \text{Nodes}, i \neq k} x_{ik} \leq y_k - 1, \forall k \in \text{Nodes}$$

### COBERTURA

$$\sum_{(i,j) \in \text{Arcs}} COV_{kj} * x_{ij} \geq 1, \forall k \in \text{Nodes}$$

### SUBTOURS PAREJAS

$$w_{ij} + w_{ji} - \sum_{k \in \text{Nodes}, k \neq j, k \neq i} w_{ik} - \sum_{k \in \text{Nodes}, k \neq j, k \neq i} w_{jk} \leq 1, \forall (i, j) \in \text{Arcs}, i \neq 0$$

### EAST SALIDA

$$\sum_{(i,j) \in AE} w_{ij} - \sum_{i \in V, i \neq k} \sum_{k \in V, k \neq i} w_{ik} \leq A - 1$$

### NATURALEZA

$$x_{ij} \in \mathbb{Z}^+ \cup 0, \forall (i, j) \in \text{Arcs}$$

$$y_i \in [0, 1], \forall i \in \text{Nodes}$$

$$w_{ij} \in [0, 1], \forall (i, j) \in \text{Arcs}$$

### CONJUNTOS RELEVANTES

$V :=$  Subconjunto de nodos que conforman un subtour

$AE :=$  conjunto de arcos que conforman el subtour

$A :=$  Numero total de uso de arcos del conjunto  $AE$

## VERIFICAR

### RESULTADOS

Indicador	Factor de Preferencia ( $\beta$ )	Valor Promedio	Meta	Cumplida
CTP	0.2	35.58%	< 93%	Sí
	0.5	32.74%		
	0.8	32.01%		
RAP	0.2	16.74%	< 92%	Sí
	0.5	19.71%		
	0.8	26.37%		
PAC	0.2, 0.5, 0.8	100%	= 100%	Sí

## CONCLUSIONES

- » Errores de modelado derivaban en omisión de soluciones factibles, empeorando el valor objetivo.
- » Paradigma de subtours embebidos ofrece gran potencial dada las mejoras observadas en la experimentación.
- » Ausencia de métodos eficientes para el SCP con subtours embebidos, confirmando su complejidad NP.

## RECOMENDACIONES

- » Considerar alcances distintos a las celdas circundantes a la posición del agente.
- » Considerar tipos de movimiento diferente al rectilíneo, modelando otro tipo de agentes desminadores diferentes a terrestres.
- » Considerar otro tipo de penalización de movimientos de la ruta.
- » Comparar el modelo propuesto con el desempeño de metodologías más eficientes para el SCP.
- » Desarrollar métodos de solución para el SCP basados en heurísticas/metaheurísticas.

### REFERENCIAS

- [1] "Minas, el enemigo oculto - El abc de las minas" <http://minas.semana.com/abc.php> (accessed Sep. 21, 2020).
- [2] DNICMA - Descontamina Colombia, "Estadísticas de víctimas", Oct. 31, 2020. <http://www.accioncontraminas.gov.co/Estadisticas/estadisticas-de-victimas> (accessed Nov. 26, 2020).
- [3] T. J. Niblett and R. L. Church, "The Shortest Covering Path Problem: A New Perspective and Model", *Int. Reg. Sci. Rev.*, vol. 39, no. 1, pp. 131-151, 2016, doi: 10.1177/0160017614550082.
- [4] R. L. Church and Alann Murray, "Advances in Spatial Science Location Covering Models History, Applications and Advancements", Accessed: Mar. 28, 2021. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/3302>