

# Sistemas al $\infty$

Manuel Antonio Vidales Duran  
Ingeniería de sistemas  
Guacarí, Colombia  
manuel.vidales@correounivalle.edu.co  
2155481  
Facultad de Ingeniería de sistemas  
Universidad del valle  
Tulua, Colombia  
ingenieria.sistemas.tulua@correouniva  
lle.edu.co

Yessica Fernanda Villa Nuñez  
Ingeniería de sistemas  
Guacarí, Colombia  
yessica.villa@correounivalle.edu.co  
2266301  
Facultad de Ingeniería de sistemas  
Universidad del valle  
Tulua, Colombia  
ingenieria.sistemas.tulua@correouniva  
lle.edu.co

Alejandro Marin Hoyos  
Ingeniería de sistemas  
Tulua, Colombia  
alejandro.marin.hoyos@correounivalle  
.edu.co  
2259353  
Facultad de Ingeniería de sistemas  
Universidad del valle  
Tulua, Colombia  
ingenieria.sistemas.tulua@correouniva  
lle.edu.co

**Busca optimizar la ubicación de nuevos programas de Ingeniería de Sistemas en una cuadrícula  $n \times n$ , donde ya existen tres sedes (Cali, Tulua y Caicedonia). El objetivo es maximizar la cobertura de población y entorno empresarial, considerando restricciones como: no ubicar programas contiguos a los existentes, asegurar un segmento de población mínimo de 25 y un entorno empresarial mínimo de 20 en cada nueva ubicación.**

## I. INTRODUCCIÓN

La expansión estratégica de programas universitarios requiere un análisis riguroso para maximizar su impacto. Este proyecto desarrolla un modelo matemático para optimizar la ubicación de nuevos programas de Ingeniería de Sistemas, transformando la región en una cuadrícula  $n \times n$  donde cada punto representa una ubicación potencial.

El modelo evalúa dos factores críticos: la densidad poblacional y el entorno empresarial. Partiendo de tres sedes existentes (Cali, Tulua y Caicedonia), se buscan ubicaciones que cumplan criterios específicos: no contigüidad entre programas, población mínima de 25 y presencia empresarial de al menos 20 en las áreas de influencia.

La solución emplea matrices de datos poblacionales y empresariales para evaluar cuantitativamente cada ubicación posible, asegurando una distribución geográfica óptima que maximice el impacto socioeconómico del programa.

## II. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Se busca determinar las ubicaciones óptimas para nuevos programas de Ingeniería de Sistemas en una región modelada como cuadrícula  $n \times n$ . Partiendo de 3 sedes existentes.

Sede	X	Y
Cali	6	8
Tulua	8	4
Caicedonia	10	10

Fig 1. Tabla de sedes existentes.

Cada posición potencial debe:

- No ser contigua a programas existentes.
- Tener población  $\geq 25$  (sumando punto y contiguos).

- Tener entorno empresarial  $\geq 20$  (sumando punto y contiguos).

Objetivo: Maximizar cobertura poblacional y empresarial cumpliendo estas restricciones.

Input: Coordenadas actuales, matrices de población/empresas, número de nuevos programas Output: Coordenadas optimizadas para nuevas ubicaciones

## III. MODELO

### A. Parámetros:

- $n$ : Tamaño de la matriz ( $n \times n$ ).
- $\text{num\_existentes}$ : Número de localizaciones existentes.
- $\text{num\_nuevos}$ : Número de nuevas localizaciones a ubicar.
- $\text{poblacion}(i,j)$ : Valor de población en la posición  $(i,j)$ .
- $\text{empresarial}(i,j)$ : Valor del entorno empresarial en la posición  $(i,j)$ .
- $(\text{pos\_x\_existentesj}, \text{pos\_y\_existentesj})$ : Coordenadas de las localizaciones existentes ( $j=1, \dots, \text{num\_existentes}$ ).

### B. Variables de decisión:

- $(\text{new\_xi}, \text{new\_yi})$ : Coordenadas de las nuevas localizaciones ( $i=1, \dots, \text{num\_nuevos}$ ).
- $\text{ganancia\_existente}$ : Ganancia total de las localizaciones existentes.
- $\text{ganancia\_total}$ : Ganancia total (localizaciones existentes + nuevas localizaciones).

### C. Funciones auxiliares:

- Segmento de población/empresarial asociado a un punto  $(x,y)$ :

$$S(\text{matriz}, x, y) = \sum_{i=\max(1, x-1)}^{\min(n, x+1)} \sum_{j=\max(1, y-1)}^{\min(n, y+1)} \text{matriz}_{i,j}$$

- Ganancia total para las localizaciones existentes:

$$ganancia\_existente = \sum_{j=1}^{num\_existentes} (S(poblacion, pos\_x\_existentes_j, pos\_y\_existentes_j) + S(empresarial, pos\_x\_existentes_j, pos\_y\_existentes_j))$$

- Ganancia total después de agregar nuevas localizaciones:

$$ganancia\_total = ganancia\_existente + \sum_{i=1}^{num\_nuevos} (S(poblacion, new\_x_i, new\_y_i) + S(empresarial, new\_x_i, new\_y_i))$$

#### D. Restricciones.

- Nuevas ubicaciones no pueden ser contiguas a las existentes:

$$\forall i \in \{1, \dots, num\_nuevos\}, \forall j \in \{1, \dots, num\_existentes\}: \\ new\_xi - pos\_x\_existentes_j > 1 \vee new\_yi - pos\_y\_existentes_j > 1$$

- Nuevas ubicaciones no pueden ser contiguas entre sí:

$$\forall i, j \in \{1, \dots, num\_nuevos\}, i < j: new\_xi - new\_xj > 1 \vee new\_yi - new\_yj > 1$$

- Cada nueva ubicación debe estar en un segmento con una población mínima de 25:

$$\forall i \in \{1, \dots, num\_nuevos\}: S(poblacion, new\_xi, new\_yi) \geq 25$$

- Cada nueva ubicación debe estar en un segmento con un entorno empresarial mínimo de 20:

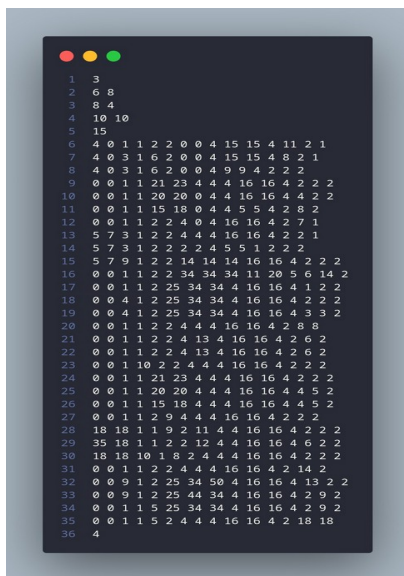
$$\forall i \in \{1, \dots, num\_nuevos\}: S(empresarial, new\_xi, new\_yi) \geq 20$$

#### E. Función objetivo.

Maximizar la ganancia total, es decir, la suma del segmento de población y entorno empresarial asociado a las nuevas ubicaciones:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^{num\_nuevos} (S(poblacion, new\_x_i, new\_y_i) + S(empresarial, new\_x_i, new\_y_i))$$

#### IV. PRUEBAS



```

1 3
2 6 8
3 8 4
4 10 10
5 15
6 4 0 1 1 2 2 0 0 4 15 15 4 11 2 1
7 4 0 3 1 6 2 0 0 4 15 15 4 8 2 1
8 4 0 3 1 6 2 0 0 4 9 9 4 2 2 2
9 0 0 1 1 21 23 4 4 4 16 16 4 2 2 2
10 0 0 1 1 20 20 0 4 4 16 16 4 4 2 2
11 0 0 1 1 15 18 0 4 4 5 5 4 2 8 2
12 0 0 1 1 2 2 4 0 4 16 16 4 2 7 1
13 5 7 3 1 2 2 4 4 4 16 16 4 2 2 1
14 5 7 3 1 2 2 2 2 4 5 5 1 2 2 2
15 5 7 9 1 2 2 14 14 14 16 16 4 2 2 2
16 0 0 1 1 2 2 34 34 34 11 20 5 6 14 2
17 0 0 1 1 2 25 34 34 4 16 16 4 1 2 2
18 0 0 4 1 2 25 34 34 4 16 16 4 2 2 2
19 0 0 4 1 2 25 34 34 4 16 16 4 3 3 2
20 0 0 1 1 2 2 4 4 4 16 16 4 2 8 8
21 0 0 1 1 2 2 4 13 4 16 16 4 2 6 2
22 0 0 1 1 2 2 4 13 4 16 16 4 2 6 2
23 0 0 1 10 2 2 4 4 4 16 16 4 2 2 2
24 0 0 1 1 21 23 4 4 4 16 16 4 2 2 2
25 0 0 1 1 20 20 4 4 4 16 16 4 4 5 2
26 0 0 1 1 15 18 4 4 4 16 16 4 4 5 2
27 0 0 1 1 2 9 4 4 4 16 16 4 2 2 2
28 13 18 1 1 9 2 11 4 4 16 16 4 2 2 2
29 35 18 1 1 2 2 12 4 4 16 16 4 6 2 2
30 18 18 10 1 8 2 4 4 4 16 16 4 2 2 2
31 0 0 1 1 2 2 4 4 4 16 16 4 2 14 2
32 0 0 9 1 2 25 34 50 4 16 16 4 13 2 2
33 0 0 9 1 2 25 41 34 4 16 16 4 2 9 2
34 0 0 1 1 5 25 34 34 4 16 16 4 2 9 2
35 0 0 1 1 5 2 4 4 4 16 16 4 2 18 18
36 4

```

1

•



Métricas de Ganancia	
Tipo de Ganancia	Valor
Ganancia Existente	328
Ganancia Total	1833

Ubicaciones Existentes		
Posición	Coordenada X	Coordenada Y
1	6	8
2	8	4
3	10	10

Fig 2. Salidas de la interfaz.

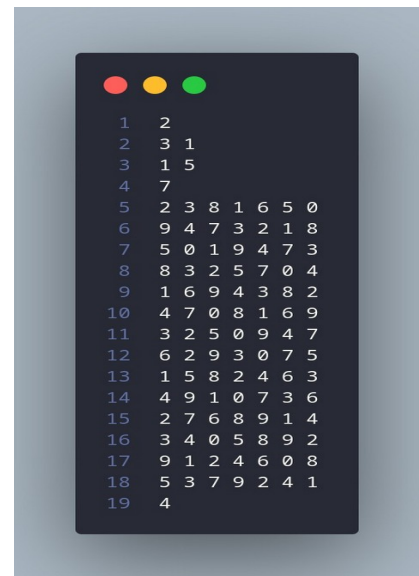
#### Descripción prueba 1.

Muestra una matriz de datos numéricos con 36 filas y múltiples columnas, probablemente representando los datos de entrada para el sistema de ubicación.

Muestra una interfaz:

- Campo para seleccionar archivo (ejemplo.txt)
- Selector de solver (Gecode)
- Resultados que incluyen: Métricas de ganancia (Existente: 328, Total: 1833)
- Ubicaciones existentes y nuevas con sus coordenadas X,Y

#### B. Ejemplo prueba 2.



```

1 2
2 3 1
3 1 5
4 7
5 2 3 8 1 6 5 0
6 9 4 7 3 2 1 8
7 5 0 1 9 4 7 3
8 8 3 2 5 7 0 4
9 1 6 9 4 3 8 2
10 4 7 0 8 1 6 9
11 3 2 5 0 9 4 7
12 6 2 9 3 0 7 5
13 1 5 8 2 4 6 3
14 4 9 1 0 7 3 6
15 2 7 6 8 9 1 4
16 3 4 0 5 8 9 2
17 9 1 2 4 6 0 8
18 5 3 7 9 2 4 1
19 4

```

Fig 1. Entrada txt.

Métricas de Ganancia		
Tipo de Ganancia	Valor	
Ganancia Existente	97	
Ganancia Total	445	

Ubicaciones Existentes		
Posición	Coordenada X	Coordenada Y
3	1	
1	5	

Nuevas Ubicaciones Encontradas		
Posición	Coordenada X	Coordenada Y
1	5	3
2	3	3
3	6	5
4	4	5

Métricas de Ganancia		
Tipo de Ganancia	Valor	
Ganancia Existente	114	
Ganancia Total	462	

Ubicaciones Existentes		
Posición	Coordenada X	Coordenada Y
1	1	
3	2	

Nuevas Ubicaciones Encontradas		
Posición	Coordenada X	Coordenada Y
1	5	4
2	3	4
3	4	6
4	6	6

Fig2. Salidas de la interfaz.

Fig2. Salidas de la interfaz.

### Descripción prueba 2.

Interfaz web "Sistema de Ubicación de Programas" muestra a la entrada de datos y selector Gecode

Resultados:

- Ganancia Existente: 97
- Ganancia Total: 445
- 2 ubicaciones existentes
- 4 nuevas ubicaciones optimizadas

### Descripción prueba 3.

- Muestra una matriz de datos numéricos con 19 filas y múltiples columnas, probablemente representando los datos de entrada para el sistema de ubicación.

Muestra una interfaz:

- Campo para seleccionar archivo (ejemplo.txt)
- Selector de solver (Gecode)
- Métricas: Ganancia Existente 114, Total 462.
- Ubicaciones existentes: 2 puntos (1,1) (3,2)
- Nuevas ubicaciones: 4 puntos (5,4) (3,4) (4,6) (6,6)
- Ubicaciones existentes y nuevas con sus coordenadas X,Y

### C. Ejemplo prueba 3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1	2																		
2	1	1																	
3	3	2																	
4	7																		
5	2	3	8	1	6	5	0												
6	9	4	7	3	2	1	8												
7	5	0	1	9	4	7	3												
8	8	3	2	5	7	0	4												
9	1	6	9	4	3	8	2												
10	4	7	0	8	1	6	9												
11	3	2	5	0	9	4	7												
12	6	2	9	3	0	7	5												
13	1	5	8	2	4	6	3												
14	4	9	1	0	7	3	6												
15	2	7	6	8	9	1	4												
16	3	4	0	5	8	9	2												
17	9	1	2	4	6	0	8												
18	5	3	7	9	2	4	1												
19	4																		

Fig 1. Entrada txt.

## V. GRAFICA

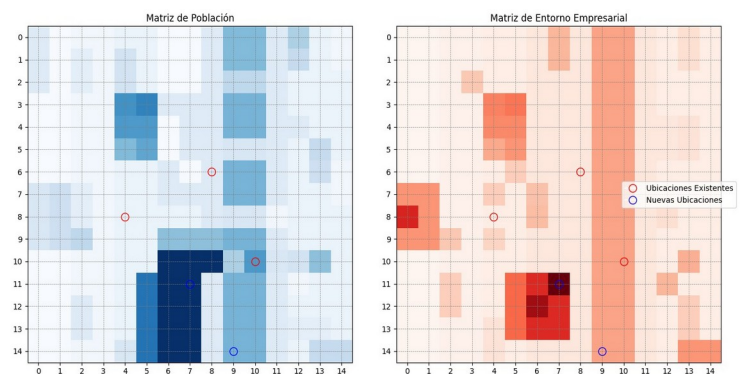


Fig 1. Grafica Ejemplo de prueba 1.

Esta gráfica muestra un análisis de las ubicaciones de población y el entorno empresarial en un área representada por dos mapas de calor

Matriz de Población (izquierda):

Los tonos más oscuros indican mayor concentración de población.

Las nuevas ubicaciones (14, 9) y (11, 7), marcadas con círculos azules, están cerca de áreas con una densidad de población media-alta, especialmente en (11, 7), que está próxima al área de mayor concentración (10, 10).

Matriz de Entorno Empresarial (derecha): Los tonos más oscuros indican un mayor impacto empresarial.

Las nuevas ubicaciones parecen estratégicamente seleccionadas en regiones con una densidad empresarial considerable, aunque no directamente en las áreas de mayor intensidad, lo cual podría equilibrar la cobertura sin saturar zonas ya servidas.

Las nuevas ubicaciones optimizan el equilibrio entre población y entorno empresarial, ampliando la cobertura en áreas con potencial de desarrollo.

VI. SECCIONES DE TRABAJO

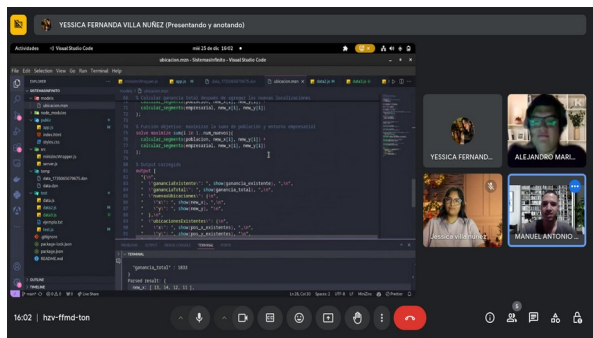


Fig 1. Sección de trabajo.

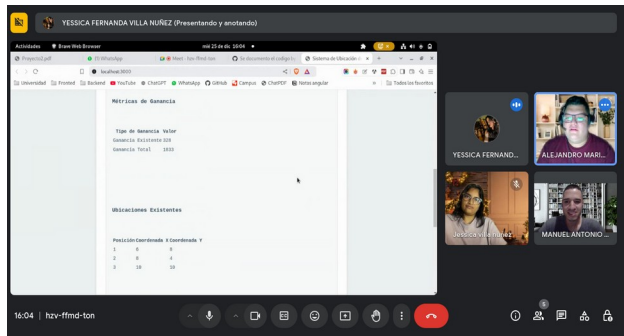


Fig 2. Sección de trabajo.

CONCLUSIONES

La solución propuesta emplea un modelo matemático que transforma el territorio en una matriz cartesiana, permitiendo evaluar tanto el segmento poblacional como el entorno empresarial de cada posible ubicación. Este enfoque no solo garantiza una distribución geográfica eficiente que evita la saturación de programas en zonas específicas, sino que también maximiza el impacto socioeconómico al requerir umbrales mínimos de población (25) y actividad empresarial

(20) en las áreas circundantes. La implementación de este modelo logra duplicar la ganancia total, demostrando su efectividad en la optimización de recursos y en la toma de decisiones estratégicas para la expansión educativa.

Utilizamos programación por restricciones para maximizar el impacto socioeconómico. Este modelo no solo evita la saturación de programas mediante restricciones de no contigüidad, sino que también asegura la viabilidad de las nuevas ubicaciones.

REFERENCIAS

Estas referencias fueron estratégicamente seleccionadas para fundamentar diferentes aspectos del modelo de optimización desarrollado:

[1] Daskin: Se utilizó como base fundamental para entender los modelos de localización discreta y las técnicas de optimización en red, lo cual fue crucial para establecer las restricciones de no contigüidad en nuestro modelo.

[2] Church & Murray: De este texto se tomaron conceptos sobre modelos de cobertura, que fueron esenciales para implementar el cálculo de los segmentos de población y entorno empresarial en áreas adyacentes.

[3] Teixeira & Antunes: Este artículo proporcionó una visión actualizada de métodos de optimización específicamente aplicados a la planificación de instalaciones educativas, lo que ayudó a adaptar nuestro modelo al contexto educativo.

[4] Stützle & López-Ibáñez: Se utilizó para optimizar la configuración del algoritmo en MiniZinc, mejorando la eficiencia en la búsqueda de soluciones óptimas para la ubicación de nuevos programas.

[5] Laporte et al.: Esta referencia aportó fundamentos teóricos sobre la ciencia de la localización, que fueron cruciales para definir la función objetivo y las restricciones del modelo matemático.

[1] M. S. Daskin, "Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications," 2nd ed., Wiley Series in Discrete Mathematics and Optimization, 2021.

[2] R. L. Church and A. T. Murray, "Location Covering Models: History, Applications and Advancements," Springer International Publishing, 2018.

[3] J. Teixeira and A. Antunes, "Spatial optimization in educational facility planning: A literature review," Computers & Operations Research, vol. 119, 2020.

[4] T. Stützle and M. López-Ibáñez, "Automated Algorithm Configuration and Parameter Tuning," in Handbook of Metaheuristics, Springer, 2019.

[5] G. Laporte, S. Nickel, and F. Saldanha da Gama, "Location Science," 2nd ed., Springer, 2019.